

**В. М. Воронин**

**ПСИХОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ  
ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ В БОЛЬШИХ СИСТЕМАХ.  
ДИАГНОСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
И ОБУЧЕНИЕ ОПЕРАТОРОВ**

**Монография**

Екатеринбург  
УрГУПС  
2016

УДК 159.9:62  
ББК Ю941.2  
В75

**Воронин, В. М.**

**В75** Психология решения оперативных задач в больших системах. Диагностика функционального состояния и обучение операторов : монография / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2016. — 249, [1] с. ISBN 978-5-94614-359-2

В книге рассматриваются важнейшие аспекты современной когнитивной и инженерной психологии. Среди них выделяются инженерно-психологические подходы к проектированию систем «человек-машина». Особое внимание уделяется проблеме моделирования деятельности по решению оперативных задач в больших системах. В монографии рассматриваются психологические факторы, влияющие на деятельность операторов больших систем, методы профессионального отбора и контроля функциональных состояний. Отдельная глава посвящена проблемам обучения операторов, в том числе адаптивного обучения.

Книга рассчитана на проектировщиков автоматизированных систем управления на транспорте, в электро- и трубопроводной энергетике, аспирантов и студентов технических вузов, а также психологов, психофизиологов, инженеров, занимающихся вопросами научной организации труда. Книга будет также интересна и практическим работникам транспорта и других больших систем.

DOI: 10.20291/978-5-94614-359-2

УДК 159.9:62  
ББК Ю941.2

*Издано по решению  
редакционно-издательского совета университета*

**Автор:** В. М. Воронин, д-р психол. наук, профессор, УрГУПС и УрФУ

**Рецензенты:** Сыманюк Э. Э., д-р психол. наук, профессор, УрФУ  
Тимухина Е. Н., действительный член академии транспорта, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

ISBN 978-5-94614-359-2

© Воронин В.М., 2016

© Оформление. Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), 2016

## Оглавление

---

Предисловие.....	5
Глава 1. СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	8
1.1. Основные понятия системотехники .....	8
1.2. Виды операторской деятельности .....	16
1.3. Характеристики больших систем .....	18
Глава 2. ПРОБЛЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО РЕШЕНИЮ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ .....	29
2.1. Понятие «оперативная задача» .....	29
2.2. Экспериментальный анализ и моделирование деятельности по решению оперативных задач .....	30
2.3. Определение состояния оператора по результатам работы на моделирующих установках.....	47
2.4. Диагностика состояния оператора за пультом управления.....	49
Глава 3. ПСИХОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ .....	61
3.1. Особенности оперативных задач в больших системах .....	61
3.2. Требования к экспериментальной методике интеллектуального профотбора диспетчеров .....	64
3.3. Критерии выбора оператора при решении проблем .....	70
3.4. Экспериментальное исследование решения оперативных задач .....	74
3.5. Решение оперативных задач в условиях неопределенности .....	80
Глава 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УТОМЛЕНИЯ .....	87
4.1. Теоретические проблемы исследования утомления.....	87
4.2. Методология исследования утомления.....	107
4.3. Принципы построения методик диагностики состояния оператора .....	157
4.4. Способности и профессиональная пригодность оператора.....	158
4.5. Когнитивные стили и способности.....	161

Глава 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА...	165
5.1. Описание методик и процедур проведения экспериментов .....	165
5.2. Обсуждение полученных результатов .....	169
5.3. Моделирование деятельности как процесс обучения .....	176
5.4. Математическая модель процесса обучения и параметры кривой обучения.....	180
5.5. Создание обучающих последовательностей .....	185
5.6. Алгоритм обработки экспериментальных данных .....	191
5.7. Программная система диагностики оперативного мышления...	193
5.8. Подсистема контроля готовности оператора к экстренному действию .....	196
Глава 6. ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ ОПЕРАТОРСКИМ ПРОФЕССИЯМ .....	199
6.1. Формирование навыков и умений .....	199
6.2. Характеристики современных тренажеров для подготовки операторов .....	207
6.3. Психолого-педагогические принципы построения тренажеров для подготовки диспетчерского состава.....	210
6.4. Психологические принципы применения тренажеров.....	212
6.5. Адаптивные системы в тренажеростроении .....	223
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	238

## Предисловие

---

Модернизация экономического развития страны непосредственно связана с решением проблемы активизации человеческого фактора. Теоретико-экспериментальная разработка этого направления и использование полученных результатов имеют важное значение для роста производительности труда, развития техники и технологии, совершенствования экономических механизмов.

На современном этапе развития нашего общества особенности человеческого фактора связаны прежде всего с изменением характера и условий трудовой деятельности: ростом технической оснащенности, сближением физического и умственного труда, повышением уровня образования людей. Комплексная механизация, автоматизация производственных процессов, роботизация, компьютеризация, создание гибких автоматизированных производств существенно изменяют место, роль и задачи человека в управлении технологическими процессами и комплексами современной техники.

В дальнейшем этот процесс будет изменяться только возрастающими темпами. Резервы повышения эффективности и надежности человеко-машинных систем и управляемых ими объектов за счет активизации человеческого фактора в широком смысле этого понятия фактически должны учитываться при проектировании и эксплуатации таких систем. Внедрение в практику результатов исследований в области инженерной психологии, психологии труда, эргономики и других смежных наук о человеке и его трудовой деятельности позволит существенно приблизиться к максимальному уровню использования потенциала человеческого фактора, максимальному уровню оптимизации процессов функционирования человеко-машинных комплексов, условий трудовой деятельности человека и гармоничного развития его гражданских, профессиональных, творческих и индивидуально-психологических качеств.

С другой стороны, по мере того как автоматизированные системы управления становятся все более сложными, а именно это сейчас происходит на транспорте и в промышленности, они все в большей мере подвержены опасному воздействию человеческих ошибок, цена которых в современных производствах и на транспорте резко возрастает. В большинстве случаев действия человека труда оказываются

неадекватными из-за его неудовлетворительной обученности, из-за несоответствия конструктивных особенностей техники возможностям и особенностям человека, а также из-за несоответствия внешних условий рабочей среды его функциональному состоянию, условий, вынуждающих его иногда работать на пределе своих психофизиологических возможностей, в экстремальных ситуациях.

В последние годы по этим причинам произошло в стране и мире значительное число серьезных аварий и катастроф с большими человеческими жертвами. Достаточно назвать катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС, шахте Распадской, значительную катастрофу в Мексиканском заливе, аварии на авиационном и железнодорожном транспорте.

В условиях новых социально-экономических и научно-технических преобразований значительно увеличивается число точек соприкосновения каждого работника с разного рода социальными и производственными факторами, влияющими на итоговые показатели эффективности его труда, труда коллектива в целом, на мотивацию, функциональное состояние и настроение работника. Это приводит к существенным сдвигам в структуре профессиональной деятельности.

В условиях, когда профессия оператора в эргатических системах становится самой распространенной профессией, особое значение приобретает фактор ответственности человека при работе с современной техникой. Инженерная психология на современном этапе объединяется со многими другими психологическими, техническими, общественными и естественными науками и меняет или трансформирует свои традиционные проблемы, задачи и подходы к их решению.

В этой связи следует отметить, что серьезные перемены в психологии, начиная с 60-х годов прошлого века, получившие в США название когнитивной революции, шли параллельно технологической революции в промышленности и на транспорте. Созданная в результате когнитивной революции модель человека — это модель сложного, искушенного, хотя и подверженного ошибкам информационного процессора.

Подобные модели весьма полезны для понимания того, как человек воспринимает информацию, говорит, мыслит, принимает решения, т. е. как раз тех проблем, разрешение которых необходимо для дальнейшего развития инженерной психологии.

Еще большие горизонты открывает перед инженерной психологией ее соединение с когнитивной наукой — междисциплинарным образованием, включающим когнитивную психологию, нейронау-

ки, компьютерные науки, прежде всего искусственный интеллект, инженериию знаний, эпистемиологию, лингвистику и антропологию.

Значимые идеи этого единения — компьютерное моделирование и представление мозга как репрезентативно-компьютерной системы — несомненно будут способствовать формированию новой научной дисциплины — когнитивной инженерии.

При написании монографии мы опирались на инженерно-психологические работы наших предшественников: Б. Ф. Ломова, В. Ф. Венды, В. П. Зинченко, М. А. Котика, Б. А. Душкова, В. Ф. Рубахина, Б. А. Смирнова, А. И. Губинского, А. А. Крылова и др., а также на немногочисленные, но весьма ценные работы в области железнодорожной психологии В. Н. Пушкина, Л. С. Нерсисяна, Г. А. Платонова.

В своей работе мы учитывали тенденции развития инженерной психологии, определенные в комплексных программах Института психологии РАН, в частности комплексной целевой программы «Человек в современных и перспективных системах управления».

На современном этапе революционных преобразований в обществе, науке и образовании необходимо заново переосмыслить проблематику инженерной психологии и других наук о трудовой деятельности человека, провести переоценку значимости отдельных фундаментальных и прикладных проблем и задач, предметов и объектов психологических исследований и разработок, подходов и методов решения отдельных фундаментальных и прикладных задач этих наук.

В монографии нашли свое отражение собственные исследования автора и обобщение нами разбросанных по разным источникам материалов, отражающих различные аспекты современной когнитивной и инженерной психологии. Мы стремились показать, что научно обоснованная организация сверхбольшой человеко-машинной системы невозможна без применения достижений инженерной и когнитивной психологии, которые в реальной практике могут и должны быть использованы для повышения эффективности, надежности и безопасности работы человека. Особенно это необходимо на современном этапе, так как в связи с развитием высокоскоростного движения и повышением мощностей транспортных систем, со все большей автоматизацией и компьютеризацией производства и транспорта все более возрастает значение человеческого фактора в разработке и эксплуатации новых образцов техники.

Структурно монография состоит из 6-ти глав. Предисловие и главы 1, 2, 4, 6 написаны В. М. Ворониным, глава 3 — В. М. Ворониным и С. А. Свердловым, глава 5 — В. М. Ворониным и З. А. Наседкиной.

### 1.1. Основные понятия системотехники

В наше время проектирование сложных систем, в том числе и **систем «человек-машина» (СЧМ)**, или эргатических систем, осуществляется главным образом методами системотехники — одной из областей общей теории систем. Поэтому необходимо хотя бы кратко остановиться на понятиях и методах этой области знания — на них будет опираться все дальнейшее изложение данной главы.

Главным, фундаментальным понятием общей теории систем является сложность. Согласно концепции общей теории систем, сложность — это совокупность огромного числа объектов, функционирующих вместе и взаимодействующих непростым способом. Сложность есть взаимодействие и, более того, взаимозависимость, т. е. поведение одного или нескольких элементов воздействует на поведение других элементов. Сложность зависит не только от взаимозависимости, но и от числа взаимодействующих компонентов.

Сложные системы можно анализировать, концентрируя внимание либо на объектах, либо на процессах; целесообразнее рассматривать систему как упорядоченную совокупность объектов, которые в процессе взаимодействия друг с другом обеспечивают функционирование системы как единого целого.

При проектировании современных сложных и дорогостоящих систем приходится заботиться не только о том, чтобы они надежно и качественно выполняли возложенные на них функции, но учитывать также затраты сил и средств на их изготовление, на обучение обслуживающего их персонала, соотнося эти показатели с тем эффектом, который будет давать применение таких систем, с ожидаемым на них спросом. Иначе говоря, при разработке новых систем необходимо принимать во внимание большое число весьма разнородных факторов, вытекающих из сферы проектирования систем, их изготовления, реализации и применения.

Помимо того, нужно, чтобы создаваемые системы были пригодны для быстрого и гибкого приспособления к выполнению новых задач,



возникающих в связи с изменением внешних и внутренних условий их функционирования. Следовательно, при разработке и создании сложных систем приходится ориентироваться не только на достижение уже имеющихся целей, разрешение существующих задач, но и на прогнозирование новых условий и вариантов их действия, перспектив их дальнейшего использования. При этом приходится учитывать и тот факт, что ошибки, допущенные при проектировании подобных сложных систем, — неучет отдельных целей, факторов, особенностей работ — могут обходиться очень дорого и приводить к большим потерям материального и социального порядка.

Все эти обстоятельства коренным образом изменили направление традиционного инженерного мышления: наряду с дифференциацией и тонкой специализацией, утвердившихся в проектировании, возникли противоположные задачи — интеграции и синтеза сложных систем — задачи, в которых не требуется увязывать многие цели, согласовывать большое число факторов технического, экономического, социального порядка, учитывать развитие системы и ее перспективы. Для решения таких задач пришлось привлечь к процессу проектирования специальные методы математики и кибернетики.

Общепризнано, что сложными системами, а современный транспорт или промышленная электроэнергетика, безусловно, относятся к наиболее сложным системам, нельзя управлять без использования математических моделей.

Проектирование сложных систем, таким образом, превратилось в *многоступенчатую* задачу, включающую в себя ряд крупных проблем:

- 1) научное исследование целей, возможностей, условий, перспектив и прочих факторов, определяющих выбор, создание и изменение данной системы;
- 2) выбор на основе этих данных принципа и структуры системы, удовлетворяющих предъявляемым к ней требованиям;
- 3) проектно-конструкторские разработки системы;
- 4) изготовление системы;
- 5) практическое применение системы (эксплуатация).

Среди всех этих проблем именно круг вопросов, включенных во второй пункт этого перечня — выбор принципа системы, связывающего теорию с технологией, — и является основным объектом системотехнических исследований. Один из ведущих специалистов в этой области А. Холл (A. Hall) определяет цель системотехники следующим образом [118]: «Сократить разрывы во времени между научными открытиями и их приложением и между возникновением чело-

веческих потребностей и производством новых систем, призванных удовлетворить эти потребности».

Рассмотрим основные понятия, которыми оперируют в системотехнике. Наиболее фундаментальными из них является система — множество элементов вместе с отношениями между этими элементами и признаками. В качестве элементов рассматриваются компоненты или части системы, а в качестве *признаков* — свойства этих элементов (компонентов). Отношения объединяют предметы системы в нечто целое. И именно тот факт, что в системе существует много видов отношений (причинных, логических, случайных и т. д.), делает полезным рассмотрение понятия системы.

Систему можно определить и как множество входов, выходов и состояний

$$S = (e, ST, BE, E); S = (X, G, S, \delta, \lambda),$$

где  $e$  — элементы;  $ST$  — структуры;  $BE$  — поведение;  $E$  — среда (окружение);

$X$  — входы;  $G$  — выходы;  $S$  — состояние;  $\delta$  — функции переходов;  $\lambda$  — функции выходов.

Элементами системы человек-машина могут быть:

— реальные объекты (вещество, энергии и др.), т. е. все то, что воспринимается или регистрируется с помощью специальной аппаратуры или органов чувств;

— информация — совокупность сведений о состоянии элементов и системы в целом;

— объекты сознания (психика) — представления в сознании о поведении чего-либо.

Состояние элементов (статическое, динамическое, переходное):

$$\overline{U}_{\phi} = \overline{U}_{\phi}(U_1; U_2; U_3; \dots U_n) \quad \text{— вектор фактического состояния системы;}$$

$$\overline{U}_{\text{ж}} = \overline{U}_{\text{ж}}(U^*_1; U^*_2; U^*_3; \dots U^*_n) \quad \text{— вектор желаемого состояния системы;}$$

$$U_{\text{ус}} = U_{\text{ус}}(U_{\text{ус}1}; U_{\text{ус}2}; U_{\text{ус}3}; \dots U_{\text{ус}n}) \quad \text{— вектор условий;}$$

$$\overline{U}_{\text{ув}} = \overline{U}_{\text{ув}}(U_{\text{ув}1}; U_{\text{ув}2}; U_{\text{ув}3}; \dots U_{\text{ув}n}) \quad \text{— вектор управления системой.}$$

Ограничения системы также характеризуются некоторой совокупностью параметров;

$$\overline{U}_{\text{огр}} = \overline{U}_{\text{огр}}(U_{\text{огр}1}; U_{\text{огр}2}; U_{\text{огр}3}; \dots U_{\text{огр}n})_1 \quad \text{— вектор ограничений.}$$

Система находится в статическом состоянии, если вектор фактического состояния системы равен вектору желаемого состояния, значения параметров, характеризующих вектор управления, равны нулю, и значения производных от параметров, характеризующих вектор условий, также равны нулю.

Система находится в динамическом состоянии, если непрерывно изменяются вектор фактического состояния, или вектор желаемого состояния, или вектор условий (или все вместе), и непрерывно вырабатывается вектор управления системой.

Железнодорожный или авиационный транспорт — это система, находящаяся всегда в динамическом состоянии.

Важной категорией системотехники является понятие окружения системы — множества предметов вне системы. К окружению относятся только те предметы:

- изменение признаков которых влияет на систему;
- признаки которых изменяются вследствие поведения системы.

Следует отметить, что под окружением здесь понимаются не только материальные предметы и явления, но и социальные, экономические, политические и прочие факторы. Таким образом, и люди, управляющие технической системой, могут быть отнесены к ее окружению. При этом граница между системой и окружением является чисто условной, поскольку при иной постановке задачи множество самой системы может быть расширено, и те элементы, которые ранее относились к окружению, становятся ее компонентами. В подобном случае и человек может рассматриваться как компонент системы. Поэтому множество системы и множество ее окружения должны определяться в каждом конкретном случае в зависимости от решаемой задачи. Теперь определим наиболее существенные показатели и свойства систем:

1. *Организационно-структурные показатели систем:*

- состав системы;
- размещение элементов системы;
- средства, используемые в различных элементах системы;
- характер связей между различными элементами системы;
- резервирование различных элементов системы;
- средства, используемые для защиты элементов системы.

Рассмотрим сущность и содержание основных организационно-структурных показателей системы.

*Состав системы* определяется совокупностью ее элементов и отношений между ними.

Показателями, характеризующими состав системы, являются: количество элементов, входящих в систему управления; элементная база; функции каждого элемента системы; характеристики отношений между элементами системы.

Показателями, определяющими характер и качество связей между элементами системы, являются: количество каналов связи; помехозащищенность каналов связи; пропускная способность каналов связи между элементами системы. Эти показатели используются для оценки функциональных состояний системы.

2. *Пространственные показатели* систем: размеры системы, подсистем и элементов, пространства, в котором функционируют размеры пространства, в пределах которого распространяются свойства системы: тепловое, световое и др.

Обобщенным показателем пространственных возможностей системы (например, системы управления) является вероятность нахождения объекта управления в интегральной области управления. Для случая, если параметры, влияющие на эту вероятность, подчинены нормальному закону, ее значение может быть определено так:

$$P_0 = 1 - \prod_{i=1}^n \left[ 1 - 0,5 \left[ 1 + \Phi \left( \frac{D_i - D_{cpi}}{\sigma_{D_i}} \right) \right] \right],$$

где  $n$  — количество элементов системы, с которых может осуществляться воздействие в данной точке пространства;

$D_i$  — максимальное удаление, на котором может находиться объект управления от  $i$ -го элемента системы;

$D_{cpi}$  — среднее удаление границы поля  $i$ -го элемента;

$\sigma_{D_i}$  — среднее квадратическое отклонение ошибки определения этого удаления.

Оценки пространственных показателей имеют очень большое значение практически для всех видов систем. Пространственные показатели могут характеризовать сферы влияния систем, условия взаимодействия с другими системами, условия совместного функционирования и др.

Временные показатели систем:

- время начала и окончания функционирования системы;
- продолжительность функционирования системы;
- время перехода системы из одного состояния в другое;
- время протекания отдельных процессов в системе.

Временными показателями возможностей системы управления являются:

- продолжительность выполнения работ при осуществлении управленческих функций;
- время развертывания системы;
- время функционирования системы;
- время начала и окончания управления;
- частота управляющих воздействий;
- цикл управления.

Для оценки временных показателей возможностей системы может быть использован критерий, сущность которого состоит в определении вероятности события, состоящего в том, что фактическое время выполнения работы (мероприятия) –  $t_\Sigma$  будет не больше заданного  $t_3$ . Если параметры, влияющие на эту вероятность, подчинены нормальному закону, ее значение может быть определено так:

$$P_t = (t_\Sigma \leq t_3) = 0,5 \left[ 1 - \Phi \left( \frac{t_3 - t_\Sigma}{\sigma_{t_\Sigma}} \right) \right],$$

где  $\sigma_{t_\Sigma}$  – среднее квадратическое отклонение суммарной ошибки фактического и заданного времени выполнения работ (мероприятий), осуществляемых последовательно, параллельно или же с временем задержки. В этом случае время между исходным и завершающим событием равно сумме времени выполнения работ (мероприятий), находящихся на критическом пути, который может быть определен с помощью метода сетевого планирования и управления.

Важное решение при системотехническом проектировании имеют такие свойства систем, как эквифинальность и робастность.

*Эквифинальность* системы (*equifinality*) – свойство системы приходить в некоторое состояние, определяемое лишь ее собственной структурой, независимо от начального состояния и изменений среды. Это динамическое свойство системы, осуществляющей переход из различных начальных состояний в одно и то же конечное состояние. Оно состоит в том, что при определенной системе управления, контроля и планирования процессов и сфер деятельности влияние отдельных внутренних или внешних факторов не способно в корне изменить поступательный характер результативности производимых работ.

*Робастность* системы (от англ. *robust* – крепкий, сильный) – способность сохранить частичную работоспособность сложной системы при отказе отдельных элементов или подсистем.

Робастность сложной системы обеспечивается функциональной избыточностью или неизбыточностью связей между элементами.

Например, человеческий мозг как сложная система обладает свойством робастности. Если несколько элементов (нервных клеток) погибает, то мозг будет продолжать функционировать за счет того, что нервные клетки имеют избыточные связи между собой.

При организации каналов передачи важных сообщений используется «горячее» резервирование, суть которого состоит в одновременной работе как основного, так и резервных каналов передачи информации. При отказе в работе основного канала тут же происходит переход на один из резервных каналов. «Горячее» резервирование используется при ретрансляции телевизионных сигналов, космической связи бортового оборудования самолетов, космических станций и т. д. «Горячее» резервирование обеспечивает системе обработки информации свойства робастности. Основную задачу системотехнического проектирования можно определить как нахождение способа оптимального согласования *входов* и *выходов* системы. Для этого требуется выявить все входы и выходы рассматриваемой системы и, используя известные преобразования и передаточные функции, установить соответствующие связи между множеством ее входов и множеством выходов. Если такую задачу не удастся решить посредством одного преобразования, то система делится на соответствующие подсистемы и предпринимаются попытки ее решения посредством ряда преобразований (ряда передаточных функций) в нескольких подсистемах.

Входы и выходы системы, а также ее подсистем группируются по признакам — несут ли они *информацию, энергию, материалы*. Отметим, что при проектировании системы важно предусматривать совместимость между выходом одной подсистемы и связанным с ним входом другой не только по характеру сигнала, но и по прочим показателям (форме, диапазону и т. п.).

Системы характеризуются и степенью их целостности (*когерентности*). Система является когерентной, если каждая ее часть оказывается связанной с другой ее частью таким образом, что изменение в одной части вызывает изменения во всех остальных ее частях и во всей системе. В этом смысле другой крайностью являются системы с независимым поведением их частей, где изменения в каждой части происходят независимо, а общее изменение в системе равно физической сумме изменений в отдельных ее частях.

Системы оцениваются также по степени *иерархической упорядоченности*, т. е. с точки зрения подчиненности не только самих под-

систем, но и их планов и целей. Можно расценивать системы и по степени их *централизованности*, т. е. по наличию в них ведущей подсистемы, играющей доминирующую роль среди остальных. Определение ведущей подсистемы осуществляется исходя из конкретных условий решаемой задачи.

В приведенном кратком обзоре понятий системотехники были выделены характеристики, которые имеют только прямое отношение к рассматриваемому в настоящей главе вопросу проектирования систем «человек-машина». Исходя из этих понятий уже можно заключить, что подобные системы отличаются высокой целостностью, иерархической упорядоченностью и централизованностью, эквивиальностью, робастностью.

Наконец, хотелось обратить внимание на закон развития систем, или историчность. Очевидно, что любая система не должна быть неизменной, что она не только функционирует, но и развивается. Можно привести примеры становления, расцвета, упадка и даже смерти биологических и общественных систем, но все же для конкретных случаев развития организационных и технических систем трудно определить эти периоды.

Не всегда даже руководители организаций и конструкторы сложных технических комплексов учитывают, что время является непременной характеристикой системы, что каждая система исторична и что это такая же закономерность, как целостность, интегративность и др. Известна и основа закономерности историчности — внутреннее противоречие между компонентами системы.

Но вот как управлять развитием или хотя бы понимать приближение соответствующего периода развития системы — эти вопросы еще мало исследованы.

В последнее время на необходимость учета закономерности историчности начинают обращать все больше внимания. В частности, в системотехнике при создании сложных технических комплексов требуют, чтобы уже на стадии проектирования системы рассматривались не только вопросы создания и обеспечения развития системы, но и вопрос, как и когда нужно ее уничтожить (возможно, предусмотрев и механизм уничтожения системы, подобно тому, как мы предусматриваем механизмы развития системы).

Всякая система допускает подразделение на подсистемы. Так, в системе «человек-машина» можно выделить две подсистемы: «человек» и «машина». В таком случае подсистема «машина» может рассматриваться как окружение подсистемы «человек», или наоборот.

И вся система «человек-машина» может расцениваться как подсистема более крупной системы или как ее окружение. В инженерной психологии принято называть подсистему «человек» оператором.

## 1.2. Виды операторской деятельности

Системы управления, одним из звеньев которых является человек, весьма различны как по выполняемой работе, так и по функциям, осуществляемым оператором. Некоторые авторы различают три вида операторов [52, 93]. Рассмотрим, как они определяют характер их деятельности.

*Оператор-технолог* непосредственно включен в технологический процесс. Он работает в основном в режиме немедленного обслуживания. Преобладающими в его деятельности являются управляющие действия. Выполнение действий регламентируется обычными инструкциями, которые содержат, как правило, почти полный набор ситуаций и решений. К этому виду относятся операторы технологических процессов, автоматических линий, операторы по приему и переработке информации и т. д.

Следующая большая категория операторов — операторы-наблюдатели. Основная функция оператора-наблюдателя заключается в контроле, непрерывном наблюдении и анализе потока сигналов. Обычно оператор получает информацию о состоянии управляемой им системы в закодированном виде. Воспринимая, расшифровывая и перерабатывая эту информацию, он должен не только отчетливо представлять себе создавшуюся обстановку, но и путем экстраполяции проследить тенденцию дальнейшего хода событий, чтобы представить возможные последствия их развития.

Таким образом, активное восприятие и слежение за сигналами, отражающими динамику параметров управляемой системы, в процессе которого анализируется создавшаяся ситуация, определяются главные тенденции и возможные последствия дальнейшего развития событий, является необходимым условием успешного выполнения оператором своих функций. Никаких действий, поступков, не предусмотренных нормативами, программами, оператор не производит. При возникновении нетипичных ситуаций ставится в известность и принимает решение оператор-руководитель.

*Оператор-исполнитель* получает информацию от какой-либо системы и передает ее дальше, в другую систему. В его функции входят



в той или иной мере функции оператора-наблюдателя. Действия его, как правило, четко расписаны инструкцией, программой, которая предусматривает также возможные варианты и отклонения. В задачу оператора-исполнителя не входят ни дополнительная обработка информации, ни самостоятельное принятие решения.

Важное звено структуры деятельности оператора-исполнителя — практические действия, непосредственно связанные с регулированием и управлением ходом выполнения производственных операций. Обычно эти действия представляют собой моторную реализацию программы регулирования и управления. Естественно, что в этом звене операционно-контрольной деятельности ведущая роль принадлежит сенсомоторным умениям и навыкам, обычно используемым при управлении данными системами. Здесь на первый план выступают скорость, точность, координированность движений, адекватность и согласованность совершаемых действий с заранее выработанной программой. Большое значение имеют оценка и контроль производственных операций с целью проверки исполнения. Эталоны для такой оценки могут быть: образ предмета труда, представление той или иной ситуации, степень соответствия хода управляемого производственного процесса заданной программе.

*Оператор-исследователь* существенно в большей степени использует аппарат понятийного мышления и опыт, заложенные в концептуальную модель. Органы управления играют для него все меньшую роль, а роль информационных моделей, наоборот, значительно возрастает. К таким операторам относятся пользователи вычислительных систем.

В обязанности *оператора-руководителя* входят, как правило, обязанности и оператора-наблюдателя, и оператора-исполнителя. Спецификой же его деятельности является необходимость решения проблемных задач, исходя из состояния системы управления в каждый данный момент, учета общих принципов работы системы и специфики отдельных ситуаций. При необходимости оператор-руководитель вмешивается в работу всей системы, если того требует ситуация.

Нам представляется, что отмеченное выше деление операторской деятельности не охватывает всего ее многообразия. Действительно, в практической работе авиа- и железнодорожных диспетчеров при решении многих задач оператор не всегда может пользоваться готовой программой, т. е. заранее известным ему алгоритмом действий. Однако в нетипичных ситуациях интеллектуальная деятельность приобретает творческий характер. Здесь происходит нестереотипное применение знаний, а также трансформирование обобщенных

пространственных образов и понятий. Ведущую роль в деятельности этих диспетчеров играет оперативное мышление, оперативная память.

### 1.3. Характеристики больших систем

После того как мы определили основные понятия и свойства систем, разберем, чем характеризуются большие системы.

Гуд и Макол [35] выделяют следующие черты систем большого масштаба:

1. Определенная целостность или единство системы — наличие у всей системы какой-то общей цели, общего назначения. Например, вся электростанция предназначена для выработки электроэнергии, весь железнодорожный узел предназначен для различных операций с вагонами и поездами. Общая цель всей системы как единого целого предполагает, что все ее подразделения — цехи, службы и т. д. — функционируют лишь как составная часть этого целого, все их усилия направлены на обеспечение главной цели системы.

2. Большие размеры системы. Система большого масштаба является большой и по числу частей, и по числу выполняемых ее различными подразделениями и элементами функций, и по своей абсолютной стоимости. Величина этой системы и число составляющих ее элементов, как правило, на практике действительно характеризует реальные большие системы. Однако можно предположить, что могут существовать весьма сложные системы, которые не обладают большим количеством элементов. И наоборот, существуют системы с очень большим количеством элементов, которые нельзя по характеристикам управления назвать большими системами.

Так, то или иное производственное подразделение, насчитывающее тысячи составных частей, может рассматриваться как малая система, поскольку его оперативное управление не связано с постоянной выработкой новых, не имевшихся ранее регулирующих воздействий. И наоборот, школьный класс, несмотря на небольшое число учеников, может выдвигать перед педагогом весьма серьезные задачи. Следовательно, значение количества элементов является для характеристики большой системы довольно условным.

3. Сложность поведения системы — такие сложные переплетающиеся и перекрывающиеся взаимосвязи между переменными, встречающимися в системе, что изменение одной переменной влечет за собой изменение многих других.

Эта сложность проявляется также и в том, что указанные выше каналы обратной связи в системе образуют переплетающиеся петли. Эта особенность системы действительно является существенной характеристикой ее как большой системы.

4. Нерегулярное, статистически распределенное во времени поступление внешних по отношению к системе возмущений («входов»). Эта нерегулярность возмущений приводит к невозможности точного предсказания нагрузки.

5. Высокая степень автоматизации в системе. В частности, для многих современных систем большого масштаба, весьма характерно широкое применение новейших средств электронной вычислительной техники. Это свойство больших систем, хотя и характеризует систему с внешней ее стороны, тем не менее, является довольно существенным на современном уровне технического прогресса.

Добавим, что в настоящее время одним из неперенных свойств больших систем является применение интеллектуальных средств поддержки человека при принятии им оперативных решений.

Разберем несколько примеров больших систем.

*Железнодорожный транспорт — как сверхбольшая эргатическая система.* Железнодорожный транспорт уже в его нынешнем состоянии представляет одну из самых сложных систем, которую можно представить как сверхбольшую эргатическую систему (СБЭС). Как эргатическую иерархическую систему ее отличает многоуровневость, централизация, непрерывность участия человека в управлении, причем как в подсистемах прямого действия, когда он находится на самом объекте управления (например, подвижном), так и в подсистемах дистанционного действия.

Ей присуща высокая степень организации, которой сопутствует сложная координация деятельности подсистем.

Одна из наиболее важных проблем, стоящих перед железнодорожным транспортом, — совершенствование организации перевозочного процесса и управления им, дальнейший рост производительности труда решается с применением новейших технических средств автоматики, прежде всего микропроцессорной техники, и развитого программного обеспечения (АСОУП, ГИД «Урал», ДИСПАРК и др.).

Обработка информации о пассажирах и грузах, как и управление движением, сосредотачивается в единых дорожных центрах, что повышает эффективность перевозок и делает возможным сначала программное управление движением поездов, а затем и автоматизацию их вождения.

Особый интерес вызывают работы по проектированию и внедрению автоматизации диспетчерского управления, что позволяет повысить пропускную способность железных дорог и существенно сократить опоздания поездов по сравнению с ручным диспетчерским управлением, осуществить значительную экономию электроэнергии [89], а также, что не менее важно, улучшить условия труда диспетчерского аппарата и машинистов. Так, опыт функционирования интеллектуальной интегрированной системы «Автодиспетчер» на Октябрьской железной дороге показывает, что голосовые переговоры между ними сократились в 7–10 раз без снижения уровня безопасности, что резко снизило напряженность их трудовой деятельности [89].

В связи с развитием в нашей стране, как и в ряде других ведущих железнодорожных мировых держав, скоростного и высокоскоростного движения особое внимание в системе «Автодиспетчер» уделяется выполнению графика движения скоростными поездами, для которых предусматривается автоматизация выработки управляющих решений в случае возникновения конфликтных ситуаций. Создан программно-технологический комплекс для выявления и формирования вариантов разрешения конфликтных ситуаций в режиме «советчика» поезвному диспетчеру для пропуска скоростных поездов точно по графику или с минимальным отклонением от него [89, 92]. В инженерно-психологическом плане встают вопросы эффективности заложенных принципов выдачи информации поезвному диспетчеру в режиме «активного пользовательского интерфейса». В этой связи на специальном экспериментальном полигоне для разработки и развития системы «Автодиспетчер» должны отрабатываться не только различные технические и технологические решения по развитию системы, но и инженерно-психологические решения, включая моделирование поведения операторов при разрешении конфликтных ситуаций.

Автоматизируются отдельные рабочие процессы на нижних уровнях системы (станциях, депо и др.), что позволяет осуществлять их с меньшими затратами ручного труда. Автоматические подсистемы внедряются на таких работах, как коммерческие операции, маневровые передвижения на станциях, а также текущее содержание постоянных сооружений и подвижного состава.

К ним относятся автоматизированная система централизованной подготовки оформления перевозочных документов (ЭТРАН), единый комплекс интегрированной обработки дорожной ведомости (ЕКИОДВ), автоматизированная информационная система организации перевозки грузов по безбумажной технологии (АИСОДВ) и др.

Существенные изменения происходят и в автоматизации ведения пассажирских и грузовых поездов. Основная особенность системы автоведения пассажирских электровозов — расчет оптимальной траектории движения, соответствующей заданному машинистом режиму исполнения расписания непосредственно в бортовом компьютере в реальном времени, что позволяет минимизировать потребленную энергию на тягу при исполнении графика движения. Кроме того, программа адаптируется к характеристикам конкретных электровоза и поезда как по тяге, так и по тормозам, что обеспечивает более высокую точность управления во всех режимах движения поезда. Система позволяет автоматизировать проверки ее и электровоза перед поездкой, что существенно уменьшает время готовности, и автоматизировать подготовку к поездке, используя возможность предварительной записи на картридж (на АРМе в депо) задания на поездку, включая список предупреждений, и автоматическое его считывание перед отправлением.

Во время движения обеспечивается оперативное тестирование аппаратуры системы автоведения и электровоза с выдачей речевого сообщения машинисту в случае обнаружения неисправности, что повышает безопасность движения.

Следует отметить, что в отличие от зарубежных систем, которые обеспечивают лишь поддержание заданной машинистом скорости, отечественные системы автоведения в реальном времени сами рассчитывают и реализуют оптимальную скорость движения в зависимости от постоянно меняющейся поездной обстановки на маршруте с учетом многих факторов: постоянных и временных ограничений скорости; сигналов светофоров; тяговых и тормозных характеристик конкретного электровоза и поезда; условий проезда определенных участков и напольных устройств и др.

В основе энергооптимального вождения поезда лежат алгоритмы быстрой оптимизации движения с учетом вышеперечисленных факторов, разработанные учеными ВНИИЖТа под руководством Л. А. Мугинштейна [58]. Алгоритмы опробованы при разработке режимных карт движения поездов, причем в отличие от статичных режимных карт, которые рассчитываются перед поездкой, в системах автоведения реализован постоянный пересчет траектории движения при каждом изменении условий.

Разработчики этой системы учитывают, что автоведение пассажирских поездов должно обеспечивать высокую точность исполнения расписания в условиях постоянно меняющейся поездной

обстановки на больших расстояниях. При этом необходимо оптимизировать траекторию движения вперед на десятки и сотни километров. При разработке программы автоведения пассажирских поездов они исходили из следующих критериев: соблюдение графика движения с точностью до 1 мин (для скоростного движения — 30 с); минимизация потребленной энергии на тягу и тормозами — в частности, минимизация числа переключений контроллера.

Таким образом, для железнодорожного транспорта, подобно всем другим отраслям промышленности, характерно стремление к полной автоматизации всех рабочих процессов. Однако для осуществления этой цели потребуется колоссальная система — такая, что ее будет трудно осуществить, как экономически, так и технически. Одна из причин этого заключается в том, что спрос на пассажирские и грузовые перевозки и связанные с ними размеры движения на дорогах сильно меняются во времени и трудно поддаются моделированию. Это особенно справедливо в условиях начавшейся приватизации РАО «РЖД». Устройства автоматики должны выполнять очень сложные функции, обрабатывать большой объем информации. Другая причина та, что аппаратура для управления движением поездов должна быть абсолютно надежна, поскольку к железнодорожному транспорту предъявляются требования обеспечения особо высокой безопасности движения поездов. Он должен удовлетворять потребности в перевозках, всегда находиться в состоянии готовности осуществить их, свести к минимуму простои или снижение качества обслуживания, даже когда движение задерживается по каким-либо причинам.

Роль человека в транспортных эргатических системах не снизилась после появления на железных дорогах автоматической блокировки, диспетчерской централизации, ЭВМ и других совершенных устройств. Все эти средства повышают информационную насыщенность контура управления, его возможности, но реализация этих возможностей пока остается функцией человека, а технологическая сложность принятия решений при этом растет. И так как все большая часть сообщений теперь формируется и представляется техническими средствами, человек вынужден работать с общей абстрактной моделью объекта управления, учитывающей машинный характер вводимых в нее сообщений. Он должен постоянно дополнять общую модель  $M_{\Sigma}$  частными моделями, достаточно точно описывающими свойства технических средств  $M_r$ . Отсюда непрерывно увеличивается мощность общего множества состояний системы и число элементов, к которым эти состояния относятся. Переход на скоростное

и высокоскоростное движение приводит к росту параметров объектов управления и к общей насыщенности среды этими объектами, т. е. происходит усложнение обстановки, в которой находится объект управления. Все это приводит и к росту требований к человеку из-за существенно уменьшающегося времени для принятия им решений и их реализации.

Требуются новые подходы к разработке таких СБЭС, каковыми является современный железнодорожный транспорт, ввиду того что сложность его инфраструктуры и ее объектов принципиально исключает возможность работы в полностью автоматическом режиме.

Именно такое понимание характерно для ведущих разработчиков систем управления железнодорожным транспортом [27], возлагающих большие надежды на интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые наряду с точными математическими моделями используют данные и знания людей, накопленные в процессе их деятельности. В основе работы таких систем может, а зачастую должен лежать формализованный опыт высококвалифицированных специалистов. Исходя из этого, ОАО «РЖД» нуждается сейчас в разработке фундаментальных основ создания интеллектуальных железнодорожных систем с использованием комплексных междисциплинарных подходов, которые в короткие сроки могут найти практическое применение.

Для разработки ИТС большое значение имеют знания человеческих способностей в процессе его взаимодействия с внешним миром, решения разнообразных задач, возникающих в процессе такого взаимодействия.

Человек, в отличие от компьютера, обладает нечетким мышлением, эффективно оперирует переменными не только количественного, но и качественного характера.

Приведем характеристику человеческих способностей, полученную на основе достижений экспериментальной и когнитивной психологии. Для человека можно выделить следующие функциональные характеристики:

- способность интегрировать разнородные элементы в единую систему;
- способность построить «модель внешнего мира»;
- предвидение событий внешнего мира;
- способность к выводам;
- решение нечетко сформулированных задач;
- распознавание ситуаций внешнего мира;

- способность ориентироваться во времени и пространстве;
- самонаблюдение;
- способность построить «модель внутреннего мира»;
- неограниченный диапазон гибкости способов переработки информации;
- общий тип решаемых проблем;
- создание «абстрактных образов внешнего мира»;
- способность выделения «постоянных элементов внешнего мира».

Эти характеристики необходимо учитывать при создании экспертных систем, т. е. компьютерных программ, способных полностью или частично заменить специалиста-эксперта в некоторой, как правило, достаточно узкой проблемной области. Экспертные системы начали разрабатываться исследователями искусственного интеллекта в 1970-х гг., а уже в 1990-х нашли свои коммерческие приложения. Это направление может иметь реальное практическое применение в железнодорожной отрасли при создании ИТС.

Экспертные системы функционируют в основном вместе с базами знаний, представляющими собой совокупность фактов и правил логического вывода в выбранной предметной области деятельности. Это и позволяет в целом моделировать поведение опытных специалистов в определенной области знаний с использованием процедур логического вывода и принятия решений.

Разработка экспертных систем предусматривает процесс формирования знаний, который невозможен без участия специалистов по когнитивной инженерии — инженера по знаниям. Эти специалисты должны обладать знаниями в области когнитивной психологии, искусственного интеллекта, программирования. Этап приобретения знаний является одним из главных узких мест в рамках технологии создания экспертных систем из-за низкой скорости наполнения базы знаний системы. К этому следует добавить, что есть предметные области, для которых зачастую трудно найти опытного человека-эксперта, а иногда такового просто не существует. Кроме того, давно замечено, что не все эксперты готовы и умеют делиться своими знаниями. О психологических причинах этого будет сказано дальше.

Другим примером большой системы могут служить различные энергосистемы. Большие системы энергетики существенно отличаются от других искусственных систем своей универсальностью и особой значимостью продукции для экономического, бесперебойного энерго- и топливоснабжения народного хозяйства, материальностью основных связей (электрических, трубопроводных), непрерывностью



процессов производства и потребления, масштабностью и, как следствие, структурной сложностью. Все это привело к появлению в рамках энергетической науки относительно самостоятельной теории и методов оптимизации и управления большими системами энергетики.

Развитие мировой энергетики идет в направлении создания и широкого внедрения SmartGrid, получившей в России название интеллектуальной энергосистемы (ИЭС). Для решения задач оперативно-диспетчерского управления ЕЭС России создана многоуровневая иерархическая система оперативно-диспетчерского управления, включающая:

- Системный оператор — Единая энергетическая система (далее СО ЕЭС);
- семь территориальных объединенных диспетчерских управлений (ОДУ или СО-ОДУ) — в каждой из семи ОЭС;
- региональные диспетчерские управления (РДУ или СО-РДУ);
- пункты управления электростанций и предприятий электрических сетей;
- оперативно-выездные бригады.

Поддержка действий диспетчера осуществляется техническими и программными средствами АСДУ. АСДУ ЕЭС можно разделить на 3 подсистемы:

- подсистема автоматического управления, работающая в реальном времени в автоматическом режиме без участия человека;
- подсистема оперативного управления режимами (ОУР), работающая в реальном времени (on-line) с участием технологического персонала;
- подсистема планирования режимов, работающая вне реального времени с участием технологического персонала.

Основные задачи подсистемы ОУР получили название EMS-приложений. Комплекс программ EMS-приложений обеспечивает функции анализа и планирования режимов на основе текущего расчетного режима ЭЭС, полученного в результате ОС. К ним относятся:

- моделирование и анализ режима, советчик диспетчеру по вводу режима в допустимую область;
- прогноз нагрузки: суточный и внутрисуточный;
- оптимизация режима по активной мощности;
- внутрисуточная коррекция режима по активной мощности и напряжению;
- оперативная оценка надежности режима и др.

Кроме того, в составе АСДУ на всех уровнях ее иерархии создаются и эксплуатируются:

- системы автоматического управления режимами – системы релейной защиты, противоаварийной автоматики и автоматического управления нормальными режимами по частоте и активной мощности (АРЧМ);
- системы краткосрочного (сутки, неделя) и долгосрочного (месяц, квартал, год);
- системы автоматизации коммерческого учета и контроля электроэнергии и мощности (АСКУЭ);
- экспертные системы для информационной помощи оперативному персоналу, а также интеллектуальной поддержки принятия решений;
- диспетчерские тренажеры.

Сегодня оперативное управление сложными технологическими процессами и локальными энергосистемами в трубопроводном транспорте нефти осуществляется в рамках автоматизированных систем диспетчерского контроля и управления (СДКУ). При оценке процессов оперативного управления управляющая деятельность лиц оперативно-диспетчерского персонала может быть представлена в виде совокупности работ, логически связанных между собой и имеющих определенную целостность. Содержание этой деятельности может быть описано в виде совокупности функций оперативно-диспетчерского управления. Каждая из этих функций обладает в известном смысле самостоятельностью, и всякая предшествующая функция в перечне есть необходимая предпосылка для выполнения последующей.

На этой основе обсуждается целенаправленное поведение лиц оперативно-диспетчерского персонала. Выполнение каждой функции управления рассматривается с точки зрения принятия управляющих решений.

Целенаправленное поведение диспетчера энергосистемы как лица, принимающего решение (ЛПР), представлено в виде множества фаз и этапов управления. При этом достижение общей цели управления энергосистемой обеспечивается достижением частных целей.

Специфика энергосистем как сложных (больших) систем не может не оказывать существенного влияния на деятельность человека, управляющего ими. Для обеспечения оптимального (или приемлемого) функционирования энергосистемы, а также правильного

ответа системы на различные возникающие возмущения человеку, выполняющему функции регулятора в этой системе, необходимо решать различные задачи.

Эта деятельность проявляется тогда, когда возникает рассогласование между требуемым и реальным режимами работы локальной энергосистемы. При этом у ЛПР может отсутствовать необходимый для устранения рассогласования набор регулирующих воздействий. В результате его деятельности, направленной на устранение такого положения, может возникать и складываться новая, не применявшаяся ранее последовательность управляющих действий. Реализация ее и приводит к устранению возникших рассогласований. Вместе с тем следует отметить, что современный диспетчер, принимая решения при управлении, может учитывать большое количество взаимосвязанных, а иногда и противоречивых факторов. Он умеет выявлять проблемные ситуации, искать, находить и принимать правильные управляющие решения. Причем, все это человек может производить в условиях, когда отсутствует ряд данных о состоянии объекта управления и нет четких критериев выбора альтернатив, т. е. принимать решения в условиях риска и неопределенности.

Рассматриваемый подход к построению человеко-машинных систем интеллектуальной информационной поддержки принятия решений (СИИППР) в рамках средств СДКУ базируется на разработке и применении таких методов, которые позволили бы эволюционно пройти указанные ниже стадии развития [9].

1. *Информационная стадия.* СИИППР берет на себя в контуре диспетчерского управления только информационные функции. По данным, полученным автоматически и от ЛПР, система выдает информацию в преобразованном виде, удобном для восприятия человеком.

2. *Информационно-советующая стадия.* СИИППР по данным, получаемым, как и на 1-й стадии, выполняет информационно-советующие функции, т. е. умеет оценить состояние объекта управления и найти перечень управляющих рекомендаций. Свои оценки и рекомендации система отображает ЛПР вместе с информацией, полученной на стадии 1 в виде, удобном для восприятия.

3. *Стадия автоматизированного управления.* В этой стадии СИИППР, получая полностью или частично информацию непосредственно от объекта управления, не только выдает рекомендации диспетчерскому персоналу, но частично осуществляет и прямое воздействие в виде выдачи команд на регуляторы и исполнительные механизмы. Человек и машина на этой стадии работают совместно,

причем человек, используя свои знания, опыт и интуицию, корректирует управляющие функции машины. При этом возможен и режим самообучения машины.

4. *Стадия полного автоматического управления.* СИИППР работает в условиях автоматического получения всей информации от системы и выдачи всех команд управления. Но и при этом человеку отводится роль не только наблюдателя за ходом управляющего процесса, но и оставляется возможность вмешательства в процесс с целью проверки правильности его исполнения и внесения корректив.

Наш краткий обзор современных больших систем показывает, что их развитие идет по пути дальнейшей интеллектуализации управленческих процессов с обязательным включением обученного человека-оператора.

## ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО РЕШЕНИЮ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ

---

### 2.1. Понятие «оперативная задача»

В современной инженерной психологии деятельность оператора по управлению объектами рассматривается через призму решения оперативных задач. Абстрагируясь от конкретных ситуаций, оперативную задачу можно определить как часть деятельности, направленную на поиск отклонений от «нормальной схемы» и их ликвидацию. При этом следует иметь в виду, что ликвидация отклонений от «нормальной схемы» очень часто происходит не путем приведения изменившегося состояния элемента системы к первоначальному, а путем изменения других элементов. Иными словами, у оператора есть различные резервные возможности для приведения системы к «нормальной схеме». Если обратиться к профессиональной деятельности работников железнодорожного транспорта: машинистам, диспетчерам (ДСП ДНЦ), то оперативную задачу, решаемую машинистом, можно определить как некоторый этап деятельности, направленный на осуществление управляющих воздействий, обусловленных движением поезда. Оперативная задача, решаемая ДНЦ, — это принятие и реализация управленческих решений в сложной динамической ситуации, направленных на реализацию безопасного продвижения поездов с наименьшей затратой времени.

Деятельность операторов за пультом управления энергосистем также сводится к решению оперативных задач. Проведение дежурств у пульта управления — ответственный вид работы оператора, который заключается в контроле за работой автоматических систем и состоит в наблюдении за различными индикаторами, приборами, сигналами. Такой вид деятельности можно объединить под названием «следающая», так как сущность ее состоит в функции слежения за показаниями приборов. Различают два вида следающей деятельности оператора.

Первый вид — наблюдение за приборами осуществляется при нормальном режиме работы автоматических систем. Оператор получает информацию о состоянии управляемой им динамической системы

в закодированном виде. Воспринимая, расшифровывая и перерабатывая эту информацию, он должен не только отчетливо представлять себе создавшуюся обстановку, но и путем экстраполяции проследить тенденцию дальнейшего хода событий с тем, чтобы предвидеть возможные последствия их развития.

При слежении за показаниями приборов (сигнализаторов) деятельность оператора сводится в основном к активному созданию модели окружающей его среды. При этом практически отсутствуют действия в форме движения. Это как бы деятельность оператора-технолога с заторможенным концом [79]. Некоторые функции этого «конца» берут на себя сигналы в виде заключений типа: «все нормально», возникающие во второй сигнальной системе.

Второй вид следящей деятельности оператора — деятельность, которая осуществляется в условиях, требующих особенно активных форм слежения при большом количестве сигналов и большом темпе их предъявления. При этом имеет место сочетание чистого наблюдения за приборами и сигнализаторами с двигательными операциями по управлению объектом или его системами.

## **2.2. Экспериментальный анализ и моделирование деятельности по решению оперативных задач**

Деятельность оператора за пультом управления является предметом изучения многих отечественных и зарубежных ученых, начиная с 60-х годов прошлого столетия [41, 43, 44, 23, 70, 96, 97, 98, 65, 66, 39, 22, 23].

Один из подходов к созданию теоретической модели деятельности оператора состоит в алгоритмическом описании его деятельности [26, 44, 69]. Смысл такого описания заключается в том, что выделяются элементарные операции, выполняемые оператором, и вся деятельность описывается в виде их последовательности. При этом указываются логические условия, оценка которых необходима для перехода от одной операции к другой. Алгоритмическое описание деятельности может быть использовано для разработки систем человек-машина, однако оно еще не раскрывает психологического содержания этой деятельности.

Начало другого подхода к анализу деятельности оператора положили авторы работы [46]. По их мнению, наиболее существенной особенностью деятельности оператора является то, что она связа-

на не с реальными объектами, а с их информационными моделями. Информационной моделью называется «организованное в соответствии с определенной системой правил и выдаваемое на устройства индикации отображение реальной обстановки» [46], которое может включать сведения о состоянии внешней среды, управляемых систем и отдельных ее узлов. Такая модель представляет для оператора источник информации, пользуясь которой он принимает решение и обеспечивает правильную, устойчивую работу всей системы.

На первом этапе деятельности осуществляется обнаружение и декодирование информации, выделение из всей совокупности сигналов значимой информации, обнаружение изменений в состояниях управляемых систем, особенно отклонений от заданного режима [46].

На втором этапе происходит переработка информации, т. е. осуществление ряда преобразований, приводящих ее к виду, пригодному для принятия решения. Оператор оценивает обстановку, выделяет проблемную ситуацию, намечает порядок решения задачи.

На третьем этапе оператором принимается решение о необходимых действиях на основе данных, полученных при анализе информационной модели и заранее известных.

Наконец, на последнем этапе принятое решение приводится в исполнение посредством определенной системы действий или соответствующих распоряжений.

Деятельность оператора по информационному поиску включает решение ряда задач, одной из которых является поиск и пересчет значимых сигналов. При решении этой задачи, как правило, необходим перебор всех элементов информационного поля. Поэтому время поиска зависит от числа объектов. Скорость прослеживания объектов определяется временем, которое оператор использует для их анализа и которое, в свою очередь, зависит от структуры значимого сигнала [46].

Изучалось прослеживание групп букв с целью обнаружения группы, содержащей заданную букву [155]. Оказалось, что время слежения является функцией числа прослеженных групп. График зависимости времени слежения от числа буквенных групп представляет прямую линию. Время прослеживания одной группы зависело от различимости и опознаваемости критической буквы и буквенного контекста, в котором она выступала. Было также показано, что при поиске значимых сигналов испытуемые анализируют прослеживаемые операции, чтобы определить, какая из них имеет свойства, подобные образу [156]. При этом они не опознают все прослеживаемые

сигналы. Тренированные испытуемые сообщали, что при быстром поиске букв с критическими свойствами они «не видели» остальных букв.

Аналогично протекает и деятельность операторов за пультом управления при нормальном ходе технологического процесса. Сличение «компактных опознавательных эталонов» [50] производится лишь с целью выявления отклонения какого-либо целостного эталона от нормы. При этом операции анализа сигналов осуществляются лишь в минимальном объеме, зависящем от характеристик, выделяющих критический эталон из фона. Это отмечает и В. Н. Пушкин, говоря, что при отсутствии нарушений нормальной производственной деятельности диспетчеры вскоре полностью забывают ситуации, связанные с работой в случае их благополучного разрешения. Кроме того, «оператор скоро привыкает к тому, что при определенном положении стрелки на шкале машина работает нормально и вообще перестает считывать показания прибора. Однако, как только процесс нарушается в том или ином направлении, смещение стрелки отчетливо дает себя знать» [97].

При нормальной работе всех систем объекта управления деятельность оператора сводится к констатации соответствия между планируемой и наличной моделями окружающей среды. Констатация осуществляется путем сравнения модели, созданной оператором при поступлении на дежурство, и модели текущей, динамической, отражающей ситуацию на данное время. При обнаружении несоответствия, при нарушении нормальной работы контролируемых систем оператор обязан принять необходимые меры для ликвидации этого несоответствия.

Следует различать два режима работы оператора после обнаружения им аварийной ситуации. Первый режим заключается в том, что оператор опознает в исходной ситуации одну из неисправностей, с которой ему приходилось сталкиваться во время тренировок. В действие вступает прочно усвоенный алгоритм выхода из создавшегося положения. Действия однозначно вытекают из ситуации, и их необходимость жестко определена программой. В этом случае деятельность оператора выступает в виде определенных, более или менее автоматизированных актов (операции по фиксированной схеме). Такую деятельность нельзя в строгом смысле назвать процессом продуктивного мышления. Независимо от сложности действия или структуры сигнала такого рода деятельность является реактивной [97]. Однако уже эти акты могут вызывать определенные затруднения в процессе трудовой деятельности в силу высокого темпа, необходимости



одновременного выполнения нескольких операций и сознания ответственности каждого отдельного действия, порождающего характерный эмоциональный фон. Хотя деятельность, связанная с воссозданием оператором проблемной ситуации на управляемом объекте, может быть относительно простой, тем не менее ее можно назвать мыслительной. В этой связи необходимо подчеркнуть значение моделирующей деятельности мозга в оперативном мышлении. Наличие модели — это индикатор того, что осуществляемая человеком в ходе управления системами деятельность есть именно мышление. Содержанием этой формы интеллектуальной трудовой деятельности является процесс вычленения элементов динамической системы и соотнесения их, во-первых, с другими элементами этой системы и, во-вторых, с особенностями статической системы, в рамках которой происходит их изменение. Динамика производственного процесса в целом соотносится с программой производственного процесса.

В полной мере продуктивное мышление проявляется во втором режиме работы оператора. Особенность этого режима заключается в том, что, не имея готового решения по ликвидации аварии, оператор для отыскания причины неисправности должен строить новые модели управляемой системы, отражающие происходящие в ней незапрограммированные процессы. Мероприятия по ликвидации несогласования между планом и реальной ситуацией не сразу становятся ясными для оператора — он открывает их посредством анализа условий ситуации на объекте.

В условиях ликвидации аварии оператор обязан за несколько минут, а иногда и секунд, установить характер аварии и ее причины и обеспечить нормальную работу управляемой системы. Установлено [110], что задача определения причины аварийных изменений решается в два этапа: установление или «воссоздание» в представлении общего характера нарушений и определение конкретной причины нарушений и обеспечение нормальной работы управляемой системы.

Необходимость первого этапа вызвана неполнотой отражения работы управляемой системы на информационной панели и необходимостью судить о ее работе по изменениям показаний отдельных приборов. Только после уточнения общего характера случившегося у дежурного персонала возникает гипотеза о причине аварии, складывающаяся, как правило, на основе сопоставления отдельных изменений опознавательных эталонов. С момента возникновения гипотезы необходима ее проверка и, следовательно, избирательное получение информации.

Оператор, участвующий в обнаружении причин неисправностей, имеет дело с проблемными ситуациями, которые он должен осмыслить, выявить задачу и найти пути ее решения. При этом нередко он ограничен во времени, опоздание становится равносильным ошибке и может привести к еще большему усложнению проблемной ситуации, а иногда и к частичному или полному нарушению работы всей системы.

Под оперативным мышлением понимается такой процесс решения практических задач, в том числе задач управления, который осуществляется на основе моделирования человеком объектов трудовой деятельности и приводит к формированию в данной ситуации модели предполагаемой совокупности действий (плана операций), обеспечивающей достижение поставленной цели. Оно включает выявление проблемной ситуации и систему ее мысленных и практических действий.

Проблема оперативного мышления впервые исследована Б. М. Тепловым на примере деятельности полководца. Выводы, к которым он пришел, представляют интерес для инженерной психологии, поскольку деятельность оператора во многих отношениях аналогична деятельности полководца (сложность обстановки, дефицит времени, необходимость учета противоборствующих сил, высокая ответственность за каждое решение и т. д.). Д. Н. Завалишина и В. Н. Пушкин первыми предприняли попытку изучить самый процесс оперативного мышления и его механизм [43]. Они пришли к выводу, что основными компонентами оперативного мышления являются структурирование, динамическое узнавание и формирование алгоритма решения.

Структурирование в процессе решения задач проявляется прежде всего в образовании более крупных единиц действия на основе связывания элементов ситуации между собой. Анализ материалов исследования [97] показал, что при описании структурирования как процесса могут быть применены понятия теории групп. В качестве групповых операций можно использовать сложение (соединение) и вычитание (разъединение) элементов. В реальном процессе эти операции осуществляются следующим образом: соединение элементов имеет место в том случае, если их взаимное расположение таково, что они могут войти в конечную ситуацию в том же порядке, т. е. воспринимаются как единый элемент (инварианта). Разъединение наблюдается в том случае, если элементы расположены неправильно с точки зрения требований конечной ситуации, и для создания правильной комбинации необходимо их разъединение.

Основой структурирования, его внутренним содержанием является установление связей между элементами, что понимается как действие, приводящее данную совокупность элементов в упорядоченное множество. Образование структур находит свое выражение в факте узнавания в исходной (проблемной) ситуации составных частей конечной ситуации. В основе этой специфической формы узнавания лежит, очевидно, указанный выше процесс образования структур.

Под формированием алгоритма решения понимается выработка принципов и правил решения задачи, а также в каждом конкретном случае определение последовательности действий. Трудность состоит в том, что различные задачи имеют различную сложность, различные организацию элементов и степень нарушения их порядка по сравнению с требуемой ситуацией. Проследивая процесс решения оператором задачи, Д. Н. Завалишина и В. Н. Пушкин выявили три этапа. На первом наблюдается стремление действовать только с одним элементом ситуации; каждый элемент выступает при этом как одномерный вектор. На втором этапе осуществляется группировка элементов определенным образом. Третий этап состоит в выработке общих принципов решения задачи, обеспечивающих соединение элементов в инвариантные подгруппы и разъединение неудовлетворительно (с точки зрения задачи) связанных элементов. Такая организация элементов ситуации в упорядоченную систему и выработка на основе этого алгоритма действий характеризуют процесс моделирования оператором окружающей его среды.

Следует отметить, что у опытных операторов процесс моделирования среды часто протекает на довербальном уровне. Именно этот уровень интеллектуальной деятельности характеризует работу опытного водителя автомашины [10], оператора системы централизованного контроля и управления [105], работников щита контроля и управления электростанции [110], пилота [87].

Как справедливо отмечал В. А. Вавилов, актуальность исследования методологических подходов к решению проблемы моделирования деятельности по решению оперативных задач определяется двумя рядами причин, находящихся в определенном соответствии друг с другом. Первый, имеющий позитивную направленность, обусловлен важностью для прикладной психологии изучения процессов решения прикладных задач [17]. Второй, имеющий негативную направленность, обусловлен низкой эффективностью экспериментального решения конкретных практических вопросов на основе моделирования деятельности по решению оперативных задач.

В современной когнитивной и инженерной психологии акцентированное внимание к решению практических задач определяется тем значительным местом, которое оно занимает в труде вообще и в мыслительной деятельности в частности. При этом содержание и структура мыслительной деятельности человека раскрываются как процесс решения задач, а сам труд определяется как адаптация к требованиям задачи.

Далее, с одной стороны, важность экспериментального анализа и моделирования оперативных задач объясняется тем, что данное направление исследований выделяется в самостоятельную научную дисциплину. Так, Ж. Фаверж [цит. по 17] предлагает различать эргономику информативных процессов, которая исследует способы представления информации, и эргономику умственных процессов, в поле зрения которой входят особенности решения практических задач человеком. В. Н. Пушкин [97] разделяет инженерную психологию, занимающуюся проектированием выходов СЧМ, оптимальных с точки зрения человека, и психологию оперативного мышления, предметом которого являются человеческие способы решения задач. Т. Томашевский считает, что это не отдельное направление в психологии, а сама сущность психологии, ее предмет, ибо психология — «наука, которая исследует деятельность в процессе решения разнообразных задач».

С другой стороны, подчеркивается важность методологической проработки данного направления, поскольку психологи, не имея твердой опоры в методологических принципах организации экспериментального моделирования деятельности по решению оперативных задач, стремятся перейти от лабораторных исследований процессов решения оперативных задач к исследованию, либо деятельности в реальных условиях, либо психических процессов, не связанных ни с какой деятельностью, либо математических моделей деятельности.

И наконец, сосредоточение усилий на вопросах анализа и моделирования процесса решения оперативных задач объясняется значимостью этого направления для создания действенной психологической теории. Лауреат Нобелевской премии Г. Саймон в свое время утверждал, опережая время, что моделирование процесса решения задач вносит существенный вклад в понимание когнитивных процессов и что психологические теории будут такими же плодотворными и содержательными, как современные теоретические представления в биологии, химии, физике. Вместе с тем выдвижение на передний план теоретико-методологических вопросов мотивируется неприспо-

собленностью моделей оперативных задач к оценке и проверке конкретных положений психологической теории. В этой связи В. А. Вавилов ссылается на Д. Бродбента, который пишет, что психологию затопил поток гипотетических теорий, поскольку задачи, используемые в эксперименте таковы, что результаты их решения могут подтвердить любую теорию. В своих работах В. А. Вавилов критикует методологические позиции Х. Лукзака и В. Н. Пушкина по вопросам критериев определения оперативных задач, а в более широком контексте — и определения заданий для профессионального отбора. Так как позиция В. А. Вавилова имеет для наших целей большое значение, приведем основные аспекты критики им работ Х. Лукзака, В. Н. Пушкина, М. Хаммертона и его подход к системным основаниям оценки сложных оперативных задач.

Цель экспериментальных исследований Х. Лукзака состояла в изучении и оценке психологической нагрузки авиадиспетчера, решающего оперативные задачи управления воздушным движением. Для достижения данной цели автор считает необходимым применить экспериментальное исследование лабораторной модели деятельности авиадиспетчера. При этом он формулирует свою исходную позицию в отношении моделирования следующим образом. **«Моделирование, — пишет Х. Лукзак, — может быть определено как целенаправленное экспериментирование на моделях рабочих ситуаций. Эти модели не обязательно должны точно воспроизводить производственную реальность, а лишь тождественно имитировать производственные условия, обуславливающие психическую нагрузку оператора»** [151, с. 651]. Далее рассуждения исследователя, как считает В. А. Вавилов, можно представить в виде определенной последовательности умозаключений. Беря за основу трехчленную функциональную модель структуры деятельности оператора при решении оперативных задач (восприятие информации — принятие решения — реализация решения), предложенную Уэлфордом, Х. Лукзак утверждает:

- а) оперативные задачи делятся на три класса: сенсорные, мыслительные, сенсомоторные [151, с. 653];
- б) оперативные задачи по регулированию воздушным движением относятся ко второму классу (мыслительные задачи) [151, с. 653];
- в) моделирование данных задач должно состоять в нагружении центрального механизма принятия решений [151, с. 653];
- г) каждое принимаемое решение (в том числе и самое сложное) может быть рассмотрено как состоящее из ряда элементарных умозаключений: конъюнкций и дизъюнкций [151, с. 654];

- д) представление оперативной задачи в виде дерева элементарных умозаключений, ветвям которого приписаны соответствующие вероятности, представляет собой изоморфную модель процесса решения этой задачи [151, с. 655];
- е) технические устройства, отображающие ситуации множественного (или бинарного) выбора, могут использоваться в эксперименте по изучению психической нагрузки авиадиспетчера в качестве моделирующих реальные средства отображения информации [151, с. 656-657].

Таким образом, Х. Лукзак, по мнению В. А. Вавилова, приходит к выводу, что испытуемый, реагирующий нажатием определенных клавиш в соответствии с инструкцией в ответ на появление определенных визуальных стимулов, испытывает ту же самую психическую нагрузку, что и авиадиспетчер. А это значит, что трудная и сложная деятельность авиадиспетчера, решающего оперативные задачи управления воздушным движением, отождествляется с действиями испытуемого, участвующего в элементарном психологическом эксперименте по изучению реакции выбора. Неправомерность такого отождествления ставит под сомнение и правомерность переноса полученных Х. Лукзаком экспериментальных результатов на реальную деятельность авиадиспетчера. Еще более существенным для нас представляется анализ В. А. Вавиловым позиции В. Н. Пушкина ввиду того, что работы последнего сыграли значительную роль в становлении железнодорожной психологии. Действительно, в работе В. Н. Пушкина была поставлена более широкая цель — изучение структуры и особенностей психологических механизмов оперативного мышления [97, с. 11]. Причем отметим, что сделал он это впервые в отечественной психологии. Для достижения этой цели автор применил экспериментальное исследование лабораторной модели деятельности железнодорожного диспетчера. В. Н. Пушкин формулирует свою исходную позицию в этом отношении следующим образом: «Единственным способом, который позволяет вскрыть структуру этого процесса (т. е. процесса решения оперативных задач. — В. В.), является эксперимент, воссоздающий в лабораторных условиях типичные моменты оперативных задач» [97, с. 125]. Беря за основу теоретическое положение А. Н. Леонтьева о тождестве структур внутренней идеальной деятельности и деятельности внешней практической, В. Н. Пушкин постулирует психологическое единство трудовой умственной операции и операции сенсомоторной, осуществляемой в трехмерном пространстве [97, с. 72]. При этом ход рассуждений ав-

тора В. А. Вавилов представляет в виде следующей последовательности утверждений:

- а) деятельность диспетчера по управлению движением поездов носит умственный характер и состоит в решении оперативных задач [97, с. 48].
- б) решение оперативных задач складывается из выполнения определенных умственных операций, являющихся основной единицей диспетчерского труда [97, с. 71];
- в) операция — это законченное действие по управлению перемещением одной динамической единицы: поезда, локомотива [97, с. 69];
- г) деятельность диспетчера включает в себя операции: во-первых, простые (одно действие), во-вторых, сложные (несколько действий) и, в-третьих, комбинированные, представляющие совокупность простых и сложных операций [97, с. 77];
- д) принимаемые диспетчером решения имеют вид логических операций: конъюнкции, дизъюнкции, импликации [97, с. 105];
- е) умственную деятельность диспетчера удобно представить в виде логической схемы — алгоритма, где логические операции записываются как логические условия, а умственные операции управления движением — как операторы [97, с. 67]; эта деятельность по решению задач может быть представлена в виде программы компьютера [97, с. 128];
- ж) задачи, предъявляемые в эксперименте для изучения оперативного мышления, должны иметь определенные отличительные особенности, существенные для оперативных задач. Прежде всего, они должны содержать две группы условий, элементов задачи — динамических и статических, обладающих ограниченным числом свойств, которые необходимо учитывать при их решении [97, с. 94].

Кроме того, экспериментальные задачи должны решаться последовательно шаг за шагом, с учетом перемещения некоторых объектов в пространстве. Задачи должны иметь несколько решений разной степени оптимальности, а действия по решению задач (шаги) быть простыми и не требовать от испытуемых специальных знаний [97, с. 126].

В итоге В. Н. Пушкин приходит к выводу, что задачи детской игры «5», а также шахматные задачи могут использоваться в лабораторном эксперименте для изучения процессов решения реальных оперативных задач. Однако это не означает, что психологическая сущность и содержание конкретной специфической деятельности

железнодорожного диспетчера, решающего оперативные задачи управления железнодорожным движением, отождествляются с психологической сущностью и содержанием действий испытуемого, участвующего в традиционном психологическом эксперименте по решению игровых задач, полностью абстрагированных от реальности. Также нельзя полагать, что использование логических схем (алгоритмов), состоящих из логических условий и операторов, раскрывает их психологическое содержание. Это отчетливо понимал В. Н. Пушкин, когда писал, что «проверка логического условия (то же самое относится к оператору) может быть довольно сложным процессом восприятия, а иногда и интеллектуальной деятельностью, содержание которой не станет ясней от того, что она будет обозначена определенной буквой» [98]. И далее он говорит о наличии таких процессов, которые в принципе не поддаются описанию с помощью логических схем. Поэтому мы можем говорить об определенной односторонности конкретного экспериментального метода исследования оперативного мышления, но никак не об односторонности методологических позиций В. Н. Пушкина.

Рассмотрим теперь, что же предлагается В. А. Вавиловым [17].

Во-первых, определение оперативной задачи через деятельность позволяет автору установить, что сложность оперативной задачи — системное качество, и зависит она не столько от интеллектуальной трудности задачи, сколько от сложности объекта и его структуры, профессионального опыта человека и его знаний, структуры и состава средств отображения информации и средств оперативного управления, психического состояния человека и условий его деятельности. Отсюда следует, что критерий сложности оперативных задач — полипараметрический. Он может быть формализован и представлен только в некоторой системе, увязывающей воедино субъекта деятельности, объект, технические средства деятельности, оперативную направленность и условия деятельности. Во-вторых, В. А. Вавилов предлагает выделить шесть уровней (включая нулевой), абстрагированных от реальности психологической структуры изучаемой деятельности. Нулевому уровню экспериментального моделирования соответствует исследование конкретной деятельности, включенной в общественные отношения, исследование, проводимое в рамках естественного эксперимента. Уровню I — исследование самостоятельной деятельности; II — исследование действий, включенных в деятельность; III — исследование самостоятельных действий, IV — исследование операций, включенных в действие,



V — исследование самостоятельных операций. Каждый следующий за нулевым уровнем экспериментального моделирования отличается от предыдущего сокращением параметров составляющих эксперимента и уменьшением сложности самого эксперимента и исследуемой части деятельности. Соответственно шести уровням моделирования деятельности автор предлагает шесть уровней сложности оперативных задач в обратной последовательности: нулевому уровню деятельности соответствует пятый уровень сложности задач, пятому уровню деятельности — нулевой уровень сложности [18].

Деятельностный подход к экспериментальному моделированию интересен и с точки зрения определения состояния оператора по параметрам трудовой деятельности.

Как известно, трудовая деятельность оператора состоит из отдельных задач, звеньев, обеспечивающих достижение частных целей труда.

Отдельная задача считается успешно выполненной, если ошибки при выполнении ее оператором не превосходят пределы (допуски), определяемые тактико-техническими условиями. Содержанием отдельной задачи с точки зрения трудового процесса является совокупность умственных и практических действий, направленных на ее выполнение. На каждое из этих действий условия выполнения задания накладывают ограничения по длительности, точности, своевременности и т. д. Невыполнение какого-либо действия, несоблюдение временных или пространственных соотношений между отдельными действиями приводит к нарушению оптимальности выполнения задачи (например, по точности, экономичности движений, расходу энергии и т. д.). В худшем случае это может привести к выводу одного или нескольких показателей качества выполнения задачи за пределы, допустимые тактико-техническими условиями. Задача в целом не будет выполнена.

Возможность выполнения оператором того или иного действия находится в тесной связи с состоянием его психических функций. Каждому действию соответствует, как правило, свой ансамбль психических процессов и своя область нормального функционирования отдельных составляющих. Выход хотя бы одной психической функции за допустимые пределы ведет к некачественному (неоптимальному) выполнению оператором соответствующего действия (или действий); при значительном отклонении задача, поставленная перед оператором, может оказаться невыполненной.

В свою очередь, психическая деятельность есть продукт функционирования различных физиологических систем. Нарушение деятельности

этих систем способно привести к нарушению состава и области нормального функционирования ансамбля психических функций и даже к невыполнению оператором задачи.

Основываясь на представленной схеме структуры трудовой деятельности, диагностику состояния оператора можно осуществить при контроле следующих показателей: параметров трудового процесса; параметров отдельных действий; ансамбля психических функций; ансамбля физиологических параметров; параметров деятельности на моделирующих установках.

В зависимости от вида деятельности и задач, выполняемых оператором, критерии, по которым можно судить о качестве выполнения работы, о состоянии умений и навыков оператора, могут быть самые различные. Условно все критерии можно разделить на две категории: получаемые непрерывно и выявляемые лишь в некоторые определенные моменты времени. Первая категория характерна для управления динамическим объектом в режиме непрерывного отслеживания. От оператора требуется непрерывное слежение за ходом процесса и непрерывное регулирование его. В качестве критерия успешности выполнения задачи выбирается обычно степень рассогласования, а в качестве основы для расчета меры соответствия оператора выполняемой работе может служить разница между допустимой ошибкой и текущей. Причем разница эта, а значит, и ошибка могут вычисляться непрерывно.

Аналогом второго вида деятельности может являться отработка оператором скачка, если траектория перехода из одного состояния системы в другое не задана жестко. В этом случае оператору приходится руководствоваться лишь ограничениями, накладываемыми на максимальные и минимальные значения контролируемых параметров. При этом величина допустимых отклонений может изменяться по траектории. Регулирование процесса производится как бы в пределах, ограниченных «трубкой» (в общем случае  $n$ -мерной), образованной граничными значениями контролируемых параметров. Анализ деятельности операторов, занятых выполнением различных задач, показывает, что управление в трубке весьма распространено. Так, водитель управляет автомобилем, руководствуясь рядом ограничений: шириной и состоянием проезжей части дороги, интенсивностью встречного и попутного транспортных потоков, действующими правилами дорожного движения, техническим состоянием агрегатов и систем управляемого транспортного средства.

Даже простое перечисление ограничений, учитываемых водителем автотранспорта, показывает, что не всегда трубку, внутри ко-

торой осуществляется процесс регулирования, можно представить в удобном, наглядном виде. Многие параметры хранятся в долговременной и оперативной памяти, многие получаются в процессе вычислений, сопоставлений. Понятно, что построить систему диагностики в данном случае можно, если имеется возможность непрерывно измерять параметры, характеризующие ход технологического процесса.

Пусть задано математическое описание трубки. Тогда, зная координаты объекта управления, можно определить положение интересующего нас объекта относительно трубки допустимых параметров. Если объект управления в каждый момент времени находится внутри трубки, можно считать, что структура навыков и умений оператора соответствует структуре процесса регулирования. Но как только объект достигает допустимого значения одного из параметров траектории, появляется несоответствие данного оператора данной задаче. Однако простая констатация этого факта обычно никого не устраивает. Необходимо знать заранее момент времени, когда технологический процесс выходит за границу допустимого, чтобы предупредить оператора о его несоответствии, успеть заменить одного оператора другим, своевременно перейти на режим аварийного автоматического управления.

Эту задачу можно выполнить, если использовать модель объекта управления. Работа данной модели должна опережать работу реального объекта на время, которое необходимо, например, для перехода на автоматическое управление. Оценивать способность оператора к выполнению поставленной перед ним задачи необходимо в таком случае, опираясь на работу модели. Следует отметить, что модель объекта управления может быть в достаточной степени упрощена, так как от нее требуется необходимая точность отражения реального процесса лишь на достаточно коротком отрезке времени. Кроме того, для описания одного технологического процесса могут быть использованы разные по ходу процесса модели. Допустимые упрощения модели объекта определяются во многом частотой коррекции ее траектории. Это означает, что время от времени необходимо заменять вычисленные с помощью модели траекторные параметры параметрами траектории реального объекта.

Методы диагностики по параметрам трудовой деятельности имеют один существенный недостаток — отсутствие сведений более тонкого характера, а именно о напряженности работы оператора, его утомлении, о физических и психических затратах при выполнении задачи. Поэтому, не отметая его, тем не менее следует обратиться

к применению формально-абстрактных задач как с точки зрения диагностики состояния оператора, так и с точки зрения его обучения.

В качестве положительного примера применения формально-абстрактных задач для обучения операторов В. А. Вавилов приводит эксперимент М. Хаммертона из лаборатории видного английского когнитивного психолога Д. Бродбента. Цель данного исследования состояла в оценке использования для профессионального обучения простых абстрактных моделей вместо дорогостоящих тренажерных комплексов, точно копирующих реальные объекты управления. В эксперименте моделировалась деятельность железнодорожного оператора, осуществляющего дистанционное управление движением локомотива. Задача испытуемого состояла в том, чтобы с помощью ручки управления как можно быстрее и точнее переместить световое пятно, проецируемое на экран, перед которым находился испытуемый, на один уровень с определенной внезапно появляющейся отметкой. Хотя испытуемый не имел дела ни с локомотивом, ни с железнодорожным полотном и прочими объектами реальности, результаты показали высокую эффективность данной модели для обучения оператора. Д. Бродбент следующим образом аргументирует подход М. Хаммертона к решению проблемы использования абстрактных задач, не связанных с предметным содержанием реальной действительности [134]:

- а) наиболее общим свойством любого поведения (от инстинктивного до речевого) является его составной характер [134, с. 16];
- б) составляющие единицы поведения определяются на основе функциональной цели и образуют иерархическую систему, структура которой может быть представлена в виде программы для компьютера [134, с. 17–18];
- в) каждая составляющая единица поведения может быть реализована широким набором способов [134, с. 16];
- г) главное при моделировании — это воспроизведение не способов выполнения составляющих единиц поведения, а лишь последовательности этих единиц поведения [134, с. 14].

В чем же В. А. Вавилов видит причину успеха моделей действий у М. Хаммертона и неудачу, по его мнению, моделей действий Х. Лукзака и В. Н. Пушкина?

По мнению В. А. Вавилова, принципиальное отличие экспериментальных моделей деятельности у Х. Лукзака и В. Н. Пушкина от моделей Д. Бродбента и М. Хаммертона состоит в том, что в экспериментах М. Хаммертона была воспроизведена функциональная

предметность действий. Именно это и обусловило их успешность. В этом случае было неважно, оперирует ли испытуемый движением поезда или светового пятна, так как при решении и реальной и формально-абстрактной задачи его действия выполняли одни и те же функции оценки расстояния, выбора оптимальной скорости для прохождения данного расстояния, а также определения момента гашения этой скорости.

По мнению В. А. Вавилова, еще одно существенное различие позиций Х. Лукзака и В. Н. Пушкина от позиции М. Хаммертона и Д. Бродбента состоит в подходе к организации самого эксперимента. У первых двух авторов были использованы с некоторыми модификациями готовые формы психологического эксперимента, традиционно применявшиеся в исследованиях реакции выбора и решения игровых задач. М. Хаммертон специально разработал форму проведения эксперимента, технические устройства и экспериментальные задания, никогда ранее в психологических исследованиях не применявшиеся. При этом М. Хаммертон перенес в эксперимент очень важную для выполнения изучаемых действий диспетчера часть реальной обстановки диспетчерского пункта: пульт управления движением локомотива.

Теперь попробуем проанализировать подлинное отличие моделей Х. Лукзака и В. Н. Пушкина от моделей Д. Бродбента и М. Хаммертона. Очевидно, что главное отличие этих моделей связано с психологической категорией изучаемого процесса. Характер деятельности авиа- и железнодорожного диспетчера существенно отличается от деятельности испытуемых в модели М. Хаммертона по дистанционному управлению локомотивом.

Поэтому ссылка на то, что все психологические процессы и функции взаимосвязаны и объединены единством деятельности, а также утверждение о том, что М. Хаммертон в своих экспериментах мог изучать не только процесс формирования определенного навыка, но и процесс принятия решения, представляется совершенно необоснованным. Действительно, деятельность оператора в модели М. Хаммертона — это высоко координированная сенсомоторная деятельность слежения, допускающая возможность формального описания поведения человека языком дифференциальных уравнений. Деятельность же железнодорожного или авиадиспетчера — это высокоинтеллектуальная деятельность, связанная, прежде всего, с оперативным мышлением, которое разворачивается при возникновении проблемной ситуации, происходящей при необходимости выполне-

ния одновременного выполнения взаимоисключающих операций. Оперативное мышление — это деятельность по решению практических задач в быстроменяющихся условиях, которая осуществляется на основе моделирования человеком состояний объектов трудовой деятельности и приводит к формированию в конкретной ситуации схем (плана) действий по управлению реальными объектами и процессами. Более точными будут определения, данные В. Н. Пушкиным, который утверждал, что оперативное мышление употребляется обычно в трех смыслах:

- 1) деятельность, состоящая из операций;
- 2) деятельность, протекающая быстро;
- 3) мышление, непосредственно вплетенное в трудовую деятельность человека.

В результате процесса решения задач, стоящих перед железнодорожным или авиадиспетчером, составляется план, предусматривающий последовательность выполнения совокупности операций, в структуру которого входят различные логические операции: конъюнкции, дизъюнкции, импликации. Большую роль в деятельности диспетчерского состава играют все виды памяти.

В деятельности поездного диспетчера (ДНЦ) можно выделить две формы памяти. Одна связана с запоминанием, сохранением и воспроизведением статических элементов участка: станций, путей и т. д. Другая выявляется в запоминании, сохранении и воспроизведении динамических элементов (поездов, локомотивов) в их отношении к статической системе. Первую форму памяти можно назвать статической — это знание диспетчером своего участка во всех деталях и особенностях и последующее применение соответствующих элементов к решению возникших задач. Вторая форма — оперативная, т. е. память на динамические моменты. Кроме этого, постоянно в памяти должно находиться большое число ограничивающих условий. Решение возникающих в ходе работы задач требует от диспетчера большого внимания: весь участок должен находиться в поле его зрения. Эта способность одновременно схватывать большое количество элементов участка, возможно, благодаря системному характеру восприятия. Иными словами, для процесса работы железнодорожного и авиадиспетчера характерен большой объем мыслительной деятельности, что отмечалось В. Н. Пушкиным и Г. А. Платоновым, исследовавших работу дежурного по станции (ДСП) и поездного диспетчера (ДНЦ) во взаимосвязи с различными психологическими процессами и функциями. Поэтому можно утверждать, что М. Хаммертон

в своем эксперименте изучал именно процесс формирования определенного навыка, но не процесс принятия решений.

Теперь несколько замечаний по поводу теории деятельности А. Н. Леонтьева, с позиции которой часто выступают психологические «антиредукционисты». Эта теория пытается объяснить многие сложные психические процессы, развитие и поведение человека объяснить упрощенной схемой: операция – действие – деятельность, что также является своеобразной формой редукционизма и далеко не всегда оказывается адекватным методом описания деятельности: необходимо учитывать ее полиструктурность, как и любого сложного реального явления, объекта, процесса. Поэтому совершенно справедливо отмечает В. Ф. Венда, что попытка выдать новые знания за преодоление редукционизма – это миф, который волей или неволей рождают и переживают многие поколения ученых. Редукция, в случае ее применения при решении прикладных задач в условиях ограниченного времени, а также когда она диктуется логикой потребностей практики и возможностей науки, может быть положительным явлением. Поэтому в процессе профессионального отбора, профессионального обучения и диагностики состояния операторов должно присутствовать разумное сочетание разных видов моделей: от простых абстрактных моделей (аналогов) до дорогостоящих тренажерных комплексов, точно копирующих реальные объекты управления. Продуктивность такого подхода заключается также не в противопоставлении, а во взаимном дополнении математических и имитационных методов и методов экспериментального психологического анализа. Не случайно монография А. *Зигель и Дж. Вольфа* «Модели группового поведения в системе человек-машина» [51] стала одной из самых цитируемых в мировой и отечественной литературе по инженерной психологии.

### **2.3. Определение состояния оператора по результатам работы на моделирующих установках**

Остановимся теперь более подробно на возможности определения состояния оператора по результатам работы на моделирующих установках. Будем исходить из того, что работа на аналоге управляемой системы осуществляется в рабочих условиях непосредственно перед выполнением конкретной задачи. Результаты деятельности на аналоге могут дать представление о качестве выполнения оператором

ром предстоящей работы. Причем чем полнее аналог отражает особенности реальной задачи, чем точнее работа на аналоге отражает реальную деятельность оператора, тем точнее результаты диагноза. Это утверждение основано на том, что при работе на аналоге проверяются состояние навыка, правильность, достаточность и своевременность умственных и практических действий, отражающих содержание задачи. В качестве критериев выбираются те же параметры, что и в предыдущем случае.

Рассматриваемый в работе [117] метод исследования имеет свои недостатки. Во-первых, работа на аналоге в ряде случаев может потребовать сравнительно длительного отвлечения оператора от выполнения обязанностей по управлению обслуживаемой системы. Необходимость замены оператора автоматическим управлением или другим оператором должна рассматриваться в каждом конкретном случае. Во-вторых, необходимо решать вопрос о размещении аналогов (в общем случае каждой задаче соответствует свой аналог) и об удобстве работы с ними. С этой точки зрения представляется возможным использование индикаторов и средств управления, уже имеющихся на рабочем месте оператора.

Несмотря на перечисленные недостатки, применение аналогов некоторых задач целесообразно, так как аналог может служить тренажером, что очень важно для воспроизводства динамического стереотипа.

Аналог будет отвечать предъявляемым к нему требованиям лишь при выполнении ряда условий [5]. Согласно первому из этих условий необходимо сохранение сложности работы оператора при переходе от выполнения задачи в реальных условиях к выполнению этой же задачи при работе на аналоге. Следует отметить, что мы не можем создать устройства (аналога задачи), полностью имитирующего условия реальной деятельности оператора. Объем, стоимость, сложность разработки и изготовления и другие причины заставляют идти на какие-то упрощения. Объем допустимых упрощений, очевидно, должен определяться конкретно для каждой задачи методом экспериментальных оценок.

Второе условие корректности выполнения аналогов обязывает учитывать сохранение навыка. В процессе работы с аналогом у оператора вырабатывается динамический стереотип работы. Мерой соответствия аналога задачи самой задаче может служить величина перестройки навыков работы при переходе от аналога к реальной задаче. Допустимое несоответствие между навыками работы в реальных ус-



ловиях и навыками работы с моделью также может быть определено методом экспертных оценок.

Третье условие – условие сохранения масштаба времени. Это условие для большинства задач технически легко выполнимо. Метод экспертных оценок в данном случае может быть использован при создании аналогов, диагностики состояния оператора лишь с целью максимального сокращения времени проведения лабораторных проб.

В наших исследованиях метода диагностики состояния оператора в качестве аналога его деятельности за пультом управления (см. гл. 5) был выбран процесс обучения на закономерную подачу зрительных или слуховых раздражителей. Анализ деятельности оператора показал, что этапы процесса обучения хорошо моделируют этапы оперативного мышления, а компоненты процесса обучения аналогичны компонентам оперативного мышления. В силу такого сходства можно считать, что одно из условий корректного выполнения аналога деятельности необходимость сохранения навыка работы при переходе от деятельности с реальными системами к работе с аналогом – выполнено.

Другое условие требует необходимости сохранения сложности работы оператора. Полученные экспериментальным путем зависимости коэффициента сложности от обнаруженных групп в обучающих последовательностях позволяют конструировать последовательности необходимой сложности.

Третье условие – условие сохранения масштаба времени – также выполняется, поскольку время, требуемое на обнаружение причин отклонения управляемой системы от нормального состояния, и время проведения лабораторной пробы, одного порядка.

Следовательно, можно считать, что процесс обучения является неплохим аналогом деятельности оператора при его дежурстве за пультом управления.

## **2.4. Диагностика состояния оператора за пультом управления**

Как было сказано выше, основным видом деятельности оператора за пультом управления большой системой является следящая деятельность первого вида, т. е. при нормальном ходе технологического процесса. В этом случае способность оператора к эффективному выполнению своих обязанностей определяется двумя факторами:

способностью своевременно обнаруживать отклонения управляемой системы от заданного режима и способностью в любой момент дежурства правильно реагировать на создавшуюся ситуацию. Наибольший интерес для нас представляет вопрос диагностики состояния оперативного мышления дежурного персонала.

Способность обнаруживать отклонения процесса от нормального хода часто называют [28, 62] готовностью к экстренному действию (ГЭД). Нам кажется, что этот термин не совсем точно раскрывает суть вопроса, когда речь идет о работе диспетчеров. В данном случае истинное определение готовности к экстренному действию должно обязательно содержать информацию о навыке оператора ликвидировать расхождения между запланированным и действительным состоянием объекта (системы управления). Имеющиеся в нашем распоряжении данные свидетельствуют об избирательной зависимости различных психических процессов от воздействия внешней среды. Так, Е. А. Милерян отмечает, что интеллектуальные звенья деятельности оператора менее надежны в условиях стрессовых воздействий, т. е. они больше подвержены действию эмоциогенных факторов по сравнению с сенсомоторными ее звеньями, где операции выполняются на уровне автоматизма [80]. Аналогичные результаты получены и другими исследователями [31, 32, 54, 74, 75]. Это позволяет утверждать, что время реакции на условный раздражитель (простая сенсомоторная реакция), констатируя степень бодрствования, дает слишком мало оснований для суждения о состоянии интеллектуальных звеньев деятельности оператора, готовности к экстренному действию. Поэтому при проверке ГЭД дежурного персонала необходимо учитывать способность операторов к структурированию, динамическому узнаванию и построению алгоритма решения задачи.

Итак, диагностика состояния оператора за пультом управления сводится к определению степени готовности к экстренному действию. В свою очередь, ГЭД определяется скоростью обнаружения расхождения между запланированными и наличными состояниями объекта управления и состоянием оперативного мышления. Именно эти показатели характеризуют состояние оператора в исследуемом случае.

Рассмотрим применимость методов к решению вопроса о состоянии оператора при его дежурстве за пультом управления.

Метод диагностики по результатам трудовой деятельности при слежении первого вида не позволяет заблаговременно оценить способность оператора к выполнению своих функций. Данные для оцен-

ки деятельности оператора мы можем получить только из анализа оперативного вмешательства в работу управляемой системы. В этом случае можно констатировать состояние оператора, состояние его навыка во время вмешательства в работу контролируемых систем. Однако делать какие-либо выводы относительно динамического перераспределения функций с целью своевременной замены оператора представляется весьма затруднительным.

Диагностику состояния оператора по данным его работы на моделирующих установках можно осуществить в рассматриваемом случае двумя способами.

Первый способ предусматривает временное отключение одной или нескольких контролируемых систем от информационной модели объекта управления и подключение на их место аналога, позволяющего по некоторой программе имитировать различные ситуации в этих системах. По действиям оператора, участвующего в ликвидации искусственных неисправностей, можно довольно точно представить себе состояние его навыка. В работе [52] отмечалось, что к недостаткам этого метода диагностики можно отнести: 1) сложность имитатора аварийных ситуаций; 2) снижение надежности тракта «система управления — пульт управления» за счет установки переключающих контактов; 3) изъятие с пульта управления информации о работе отдельных систем, узлов на время проведения испытаний. В настоящее время в условиях развития компьютерной техники первый и второй недостаток утратили свою актуальность. Однако существенное значение в этом случае приобретает интерференционное влияние искусственной задачи на основную деятельность.

Второй способ заключается в выполнении оператором дополнительной задачи, структурно связанной с основными характеристиками его деятельности. При этом, разумеется, должны быть выдержаны условия корректного выполнения аналогов. Выполнение этих условий представляет основную трудность указанного метода диагностики.

Определение состояния оператора методом оценки его психических функций предполагает знание основных характеристик его деятельности.

Специфические особенности восприятия оператора за пультом управления обусловлены тем, что он в силу условий труда лишен возможности непосредственно отражать работу систем управления. Тем не менее отражение состояния контролируемых систем — важнейшее условие управления ими. Воспринимая показания приборов

и сигнализаторов, дежурный получает сигналы, т. е. опорные точки для воссоздания общей картины работы управляемого объекта. Именно это сигнальное опосредование определяет значение слуховых и зрительных раздражителей, которые отражает оператор в процессе производственной деятельности. Так, деятельность ДСП с точки зрения процессов восприятия характеризуется тем, что, глядя на табло, он воспринимает различные элементы станционной работы.

При этом основных групп элементов две: одна группа относится к динамике станции (поезда, локомотивы, вагоны); другая — к статической структуре станции (пути, стрелки и светофоры). Все эти группы элементов представлены на табло пульта управления.

Следовательно, с помощью зрительного восприятия дежурный получает более непосредственную картину станционной работы. Слуховой анализатор связан с систематическими телефонными переговорами дежурного. Слуховые восприятия дают возможность дежурному лишь опосредствованно отражать ситуации на станции.

Необходимым свойством всякой профессиональной деятельности является **внимание**. В производственной деятельности, связанной с управлением динамическими процессами, оно играет главную роль. Успех деятельности оператора, способность правильно выполнить задание находится в прямой зависимости от объема внимания, его устойчивости, способности быстро переключиться с одной задачи на другую и распределить внимание на решение нескольких задач одновременно.

Значение объема внимания оператора в его производственной деятельности определяется в двух планах: в восприятии пульта управления и восприятии всех систем объекта управления в целом. Пульт со всеми приборами, сигнализаторами, табло должен постоянно находиться в поле зрения дежурного. Число элементов информационной панели достаточно велико, и охват их всех оказывается возможным благодаря структурному характеру восприятия оператора. Каждый элемент пульта воспринимается не изолированно, а как звенья единой системы управления. Большой объем внимания операторов при восприятии информационной панели в значительной мере обусловлен навыком работы за пультом. Кроме того, в профессиональной деятельности оператора работа всех систем объекта управления со всеми подробностями должна постоянно, в каждый момент времени находиться в его представлении.

Работа оператора предъявляет большие требования к распределению внимания. Это обусловлено возможной необходимостью при возникновении аварийных ситуаций одновременного решения не-

скольких задач. Именно необходимость распределения внимания между решением различных задач является важнейшей причиной утомления ДСП, фактором, однако, неизбежным в силу напряженности работы узловой станции, на которую одновременно принимаются и с которой отправляются поезда по разным направлениям.

Другой характерной особенностью деятельности оператора является необходимость частого переключения внимания, вызванная требованием быстрого перехода от решения одной задачи к решению другой. Особенно отчетливо переключение внимания выступает в деятельности ДСП при двухпутном движении поездов, а также при одновременной маневровой работе в различных парках станций. Острая необходимость переключения внимания сказывается также в часы пик, в период одновременного интенсивного пригородного и грузового движения.

Исключительно высокие требования предъявляются к устойчивости внимания. При нормальном ходе работы возникает необходимость произвольного поддержания устойчивого внимания. В это время оператор находится в состоянии оперативного покоя, который ни в коей мере не может рассматриваться как отдых. Это — напряженное состояние готовности к действию. А. А. Ухтомский в работе «Физиологический покой и лабильность как биологические факторы» следующим образом охарактеризовал оперативный покой: «Оперативный покой — есть готовность к действию, могущая устанавливаться на различные степени высоты. Более высоко организованная способность к оперативному покою, вместе и более организованная, срочная готовность к действию» [112, с. 76].

Известно, что человеческому вниманию во время его длительно-го сосредоточения свойственны колебания (флуктуации). Для поддержания внимания на высоком уровне устойчивости оператору нужно бороться с этими естественными процессами, преодолевая колебания внимания. Это основная трудность и причина утомляемости оператора.

Необходимо отметить роль и значение репродуцирующего воображения в работе оператора. На основании зрительных и слуховых восприятий, связанных с пультом управления, дежурный создает образ динамики отдельных систем и всего объекта управления в целом. Неся дежурство за пультом управления, будучи изолированным в известной степени от объекта управления, оператор использует в своей работе этот образ. Следовательно, представления, связанные со статикой объекта управления, и образы репродуцирующего воображения, отражающие его динамику, являются исходными точками, афферентирующими протекание процесса управления.

Следует особо подчеркнуть, что деятельность оператора предъявляет высокие требования к процессам его памяти — запоминанию, сохранению и последующему воспроизведению многочисленных и разнообразных элементов и узлов, из которых складывается работа современного объекта управления.

Можно вычленить две формы памяти оператора. Одна форма связана с запоминанием, сохранением и воспроизведением статических элементов системы — нормальное положение указателей и сигнализаторов, изменения в работе систем управления к началу смены, инструкции и распоряжения относительно порядка несения дежурства и т. д. Другая форма памяти, которую называют оперативной, связана с динамикой системы управления.

Так, в деятельности ДСП и ДНЦ память на статику выражается в отличном знании дежурными всех путей, стрелок и т. д. станции, которое является обязательным условием профессиональной деятельности ДСП. Память на динамику станционной работы — это знание главным образом свободы и занятости тех или иных путей, длины составов, размещенных на станционных путях, характера грузов, находящихся в них, и т. д. Эта форма памяти — основа оперативной работы. Наблюдения за работой ДСП показывают, что эти два вида памяти неразрывно связаны между собой. Актуализация, воспроизведение статических элементов станции всегда происходит только под углом зрения задач по организации движения. При этом необходимо отметить тот факт, что, несмотря на отличное знание станции, ДСП не всегда легко бывает воспроизвести тот или иной элемент станционной статики так быстро, как это бывает необходимо в момент срочного решения ответственной задачи. Количество статических и динамических элементов, которые необходимо удерживать в памяти на крупных узловых станциях, иногда бывает очень велико. Сюда, как следует из описания производственного процесса, входят прибывающие и отправляемые поезда, их номера, их техническая и экономическая характеристики. Количество этих элементов определяет собой нагрузку ДСП и степень его утомляемости в ходе дежурства.

Развитие телемеханических устройств в управлении движением поездов, как и в других видах промышленного диспетчирования, идет по линии максимальной разгрузки памяти дежурного. Так, само табло пульта управления, помимо своего значения аппарата управления и контроля, играет огромную психологическую роль в отношении разгрузки памяти дежурного.

Необходимо отметить также, что вся деятельность оператора за пультом управления в силу ее огромной ответственности сопровождается значительным эмоциональным напряжением, которое проявляется обычно в двух формах — эмоциональном фоне и иногда, довольно редко, — в острых эмоциональных всплесках. Эмоциональный фон является обычным для всей деятельности дежурного, всплески же наблюдаются главным образом в моменты резких осложнений функционирования управляемых систем.

Таким образом, для оценки состояния оператора необходимо исследовать: 1) состояние анализаторных систем; 2) объем внимания; 3) распределяемость внимания; 4) переключаемость внимания; 5) устойчивость внимания; 6) состояние долговременной памяти; 7) состояние оперативной памяти; 8) эмоциональную устойчивость.

Возможно, удастся создать комбинированную установку, позволяющую получать значения всех параметров. Однако, очевидно, для измерения этих параметров потребуется сравнительно продолжительное время, в течение которого оператора необходимо будет полностью переключить на проведение лабораторных проб, а его функции возложить на других работников смены или на автоматику.

Перспективным направлением в этом отношении может служить интегральная оценка действий испытуемого в процессе проведения испытаний, которая выводится обычно по формуле

$$f(y) = M_r(w, y) = \sum_{i=1}^{i=n} w_i y_i, \quad (2.1)$$

где  $M(w, y)$  — результат испытаний у оператора;

$y_i$  — оценка  $i$ -го исследуемого показателя у оператора;

$w_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го показателя;

$n$  — число показателей, с помощью которых проводится отбор операторов.

Применение формулы требует предварительного решения двух задач. Одна из них заключается в том, что для получения интегральных характеристик по результатам разных методик необходима единая система измерений. Поэтому широко распространена система перевода абсолютных величин в относительные единицы — баллы. Статистически наиболее обоснованной является девятибалльная система. Для ее построения предварительно проводится обработка большого числа измерений по каждой конкретной методике: строятся гистограммы, находятся средние распределения и затем по выбранной доле среднеквадратического отклонения определяется шкала соответствий между абсолютными значениями и баллами.

Вторая задача состоит в нахождении весовых коэффициентов для каждого показателя методик. Эти коэффициенты должны отражать важность данного качества человека для профессиональной деятельности и прогностичность метода. Отнесение испытуемых к одной из групп производится следующим образом:  $M(w, y) > A_1$  – абсолютно пригодные;  $M(w, y) < A_2$  – непригодные;  $A_2 < M(w, y) < A_1$  – условно пригодные. Граничные значения показателей  $A_1$  и  $A_2$  определяются исходя из требований к данному виду деятельности. Рассмотренный подход к диагностике профпригодности испытуемых не является единственным возможным. Кроме него существуют другие подходы, основанные на использовании метода последовательного статистического отношения вероятностей и теории распознавания образов. Для определения весовых коэффициентов линейной свертки, каковой является формула (2.1), встает вопрос: сколькими единицами выигрыша по одному или нескольким критериям можно компенсировать неизбежный проигрыш по другому критерию? Построение схемы мультикритериального компромиса в случае линейной свертки основано, по существу, на оценке весовых коэффициентов в окрестности «рабочей точки» (целевого значения показателей), т. е. на возможной компенсации показателей «в малом». Недостатком линейной свертки является неограниченная возможность компенсации ухудшения других показателей за счет улучшения других. Линейная свертка приводит к приемлемым результатам только в окрестности целевой точки, относительно которой выполняется нормирование и определены весовые коэффициенты. Поэтому использование линейной свертки

$$f(y) = M_r(w, y) = \sum_{i=1}^{i=n} w_i y_i$$

для многокритериальных задач, каковой является профотбор, допустимо только при наличии ограничений на критериальные показатели  $y_i < y_m$  для максимизируемой и  $y_i > y_m$  для минимизируемой свертки ( $i \in 1 : n$ ). Подход, предлагаемый нами для интегральной оценки действий испытуемого в процессе испытаний, например, при профессиональном психологическом отборе машинистов и поездных диспетчеров, основан на работах Т. И. Анкудинова и И. Г. Анкудинова [1, 2], А. Н. Воронина [21] и отличается от известных тем, что используется нелинейная свертка – взвешенное степенное среднее (ВСС), которая в нашем случае будет выглядеть следующим образом:

$$f(y) = M_r(w, y) = \left( \sum_{i=1}^{i=n} w_i y_i^r \right)^{1/r}, \quad (2.2)$$



где  $r$  – степень среднего ( $r \in (-\infty, +\infty)$ ), причем веса  $w_i (i \in 1 : n)$  нормируются так, что

$$\sum_{i=1}^{i=n} w_i = 1; \quad (2.3)$$

$y_i$  – нормированное значение показателя  $Y_i$  вычисляется по формуле в случае когда  $(Y_{\text{ц}}) > 0$

$$y_i = \text{norm} (Y_i) = Y_i / Y_{\text{ц}} \quad (2.4)$$

или по формуле

$$y_i = \text{norm} (Y_i) = (B_i - Y_i) / (B_i - Y_{\text{ц}}), \quad (2.5)$$

которая может быть использована и при  $(Y_{\text{ц}}) = 0$ , т. е. при нулевых целевых значениях.

В этой формуле  $B_i$  – постоянное положительное смещение.

Следует подчеркнуть, что при практическом применении многокритериальных сверток, которые можно описать на основе ВСС, нельзя ограничиваться фиксированными значениями параметра  $r \in \{-1, 0, 1\}$ , назначаемыми, как правило, без достаточного обоснования. Авторы работы [2] показывают, что результаты применения многокритериальных сверток существенно зависят не только от весовых коэффициентов, но и от выбора параметра выпуклости  $r$ .

Методология выбора параметров ВСС, обеспечивающая компенсацию *im grossen* на основе экспертных оценок, приведена в [1, 2]. Для определения параметров свертки  $w$  и  $r$ , как показано в [2], необходимо получить от экспертов целевое значение  $Y_{\text{ц}}$  и предельно допустимое отклонение  $\Delta Y_{\text{ц}}$  каждого показателя от целевого значения в сторону ухудшения, т. е. предельно допустимый проигрыш, который может быть компенсирован за счет остальных показателей. Рассмотрим два варианта компенсации.

В качестве компенсирующих используются по умолчанию предельно лучшие компенсируемые значения (ПЛ-значения) показателей. Нормированные и абсолютные предельные компенсируемые значения (ПК-значения) будем обозначать  $y_i$  и  $Y_i$  соответственно.

В работах [1, 2] показано, что для  $r \leq 1$ , т. е. для максимизируемых показателей:

$$y_i = \begin{cases} 1 / w_i^{1/r} & \text{для } r < 0, \text{ при условии, что } \forall_j \neq i : y_j \rightarrow \infty; \\ 0 & \text{для } r = 0, \text{ при условии, что } \forall_j \neq i : y_j \rightarrow \infty; \\ 0 & \text{для } 1 \geq r > 0, \text{ при условии, что } \sum_{j \neq i} w_j y_j^r = 1. \end{cases} \quad (2.6)$$

Расчет параметров свертки осуществляется из условия обеспечения заданного экспертами требуемого ПК-значения  $Y_i = Y_{\text{ц}} - \Delta Y_{\text{ц}}$  для максимизируемых показателей и соответственно требуемого ПК-значения  $Y_i = Y_{\text{ц}} + \Delta Y_{\text{ц}}$  для минимизируемых показателей.

Формула для расчета весов будет выглядеть следующим образом:

$$w_j = 1/y_j^r \quad (j \in 1:n), \quad (2.7)$$

где  $y_j = \text{norm}_j(Y_j)$ , а значения  $Y_j$  получены на основе экспертных оценок, как указано выше.

Из условия нормировки  $\sum_{j=1}^{j=n} w_j = 1$  следует уравнение

$$\sum_{j=1}^{j=n} 1/y_j^r = 1 \quad (2.8)$$

Для получения приближенного решения уравнения (2.8) относительно  $r$  вычисляем среднее значение  $\bar{y} = \sum_{j=1}^{j=n} y_j / n$ . Тогда  $r = \ln n / \ln \sim y$ . Полученное значение  $r$  подставляется в (2.6) и получаем веса показателей.

Важность обоснованного назначения параметра  $r$ , как и в целом использование нелинейной свертки, демонстрирует следующий пример, взятый из [2]. Этот пример позволит читателю лучше уяснить возможности предлагаемого подхода не только для целей профотбора, но и для получения частных и обобщенных показателей деятельности оператора, что является важнейшей инженерно-психологической задачей.

Качество посадки самолета оценивается показателями:  $Y_1(v)$  — модуль отклонения от расчетной точки касания в продольной плоскости;  $Y_2(v)$  — модуль отклонения точки касания от продольной оси взлетно-посадочной полосы (ВПП) в боковой плоскости;  $Y_3(v)$  — вертикальная скорость в терминальной точке;  $Y_4(v)$  — среднее отклонение от глиссады в вертикальной плоскости;  $Y_5(v)$  — среднее отклонение от глиссады в горизонтальной плоскости. Предполагается, что целевые значения показателей  $Y_{\text{ц}} = 0$  и для их нормализации используется формула (2.4), превращающая минимизируемые показатели  $Y = (Y_1, \dots, Y_5)$  в максимизируемые  $y = (y_1, \dots, y_5)$ . Поэтому в рассматриваемом случае свертка  $f(y) = M_r(w, y)$  также должна быть максимизируемой. Будем использовать следующую лингвистическую (качественную) шкалу оценки показателей  $y_j$  ( $i \in 1:5$ ) и свертки  $M_r(w, y)$ :  $[0,0 - 0,3] \rightarrow$  «неприемлемое» (НП);  $[0,3 - 0,5] \rightarrow$  «низкое» (Н);  $[0,5 - 0,6] \rightarrow$  «удовлетворительное» (У);  $[0,6 - 0,8] \rightarrow$  «хорошее» (Х);  $[0,8 - 1,0] \rightarrow$

→ «высокое» (В). В скобках даны сокращения для наименований интервалов.

Далее авторы работы [2] рассматривают пример, взятый из работы [20] и показывают недостатки, присущие использованию свертки, когда параметр  $r = -1$ .

В примере, приведенном в [20], используется, по существу, минимизируемая свертка  $1 - M_{-1}(w_b, y)$  и минимизируемые показатели, в качестве которых используются значения  $1 - y_i$  ( $i \in 1:5$ ), причем веса  $w_a = (0,25; 0,22; 0,28; 0,16; 0,09)$  и значения смещения  $B = (15; 10; 1; 30; 20)$ , используемые для их нормирования, назначены на основе экспертных оценок.

Из (2.6) следует, что для  $r = -1$  ПК-значения  $y_i = w_i$  ( $i \in 1:n$ ). Поэтому для примера из [20] вектор ПК-значений  $y = w_b = (0,25; 0,22; 0,28; 0,16; 0,09)$ , т. е. ПК-значения имеют «неприемлемый» уровень. При нормировании показателей по формуле (2.2) и  $Y_{ц} = 0$ , абсолютные ПК-значения можно рассчитать по формуле  $Y_i = \text{norm}_i^{-1}(y_i) = (1 - w_i^{-1/r}) \cdot B_i$ . Для заданных в примере [20] значений векторов  $w_b$ ,  $B$  и параметра  $r = -1$  получаем  $Y = (11,25; 7,8; 0,72; 25,2; 18,2)$ , т. е. абсолютные ПК-значения весьма далеки от целевого уровня. Это связано с тем, что в [20] используется фиксированное значение параметра  $r = -1$  и не учитываются ПК-значения показателей.

Для оценки качества посадки самолета в соответствии с предлагаемой нами методикой изменим условия примера [20]: вместо  $r = -1$  и весов  $w_b = (0,25; 0,22; 0,28; 0,16; 0,09)$  зададим нормированные ПК-значения из условия  $y_1 = y_2 = y_4 = y_5 = 0,6$  (параметры не ниже «удовлетворительного» уровня) и  $y_3 = 0,8$  (оценка вертикальной скорости не ниже «хорошего» уровня), т. е.  $y = (0,6; 0,6; 0,8; 0,6; 0,6)$ . Для  $Y_{ц} = (0; 0; 0; 0; 0)$  и  $B = (15; 10; 1; 30; 20)$  по формуле  $Y_i = (1 - w_i) \cdot B_i$  найдем кортеж абсолютных ПК-значений  $Y = (6; 4; 0,2; 12; 8)$ . Таким образом, интервалы  $[Y_{ц}, Y_{ид}]$  допустимых значений показателей:  $Y_1 \in [0; 6]$ ;  $Y_2 \in [0; 4]$ ;  $Y_3 \in [0; 0,2]$ ;  $Y_4 \in [0; 12]$ ;  $Y_5 \in [0; 8]$ .

Для  $y = (0,6; 0,6; 0,8; 0,6; 0,6)$  по формуле (2.7) найдем  $r = -3,8$  и по формуле (2.6) найдем  $w = (0,143; 0,143; 0,428; 0,143; 0,143)$ .

В табл. 2.1 приведены абсолютные ( $Y_i$ ) и нормированные ( $y_i$ ) по формуле (2.2) значения показателей ( $i \in 1:5$ ), значения  $M_{-1}(w_b, y)$  и  $M_{-3,81}(w, y)$ , а также и их лингвистические оценки для трех вариантов посадки самолета. К вариантам  $v_1$  и  $v_2$ , рассмотренным в [20], добавлен вариант  $v_3$ .

При использовании свертки  $M_{-1}(w_b, y)$  для варианта  $v_1$  качество посадки «хорошее», а для варианта  $v_2$  — «удовлетворительное»,

несмотря на то, что качество посадки по показателям  $Y_3(v_2)$ ,  $Y_4(v_2)$  и  $Y_5(v_2)$  «низкое». Для добавленного нами варианта  $v_3$  качество посадки «удовлетворительное», несмотря на то, что оценка показателя  $Y_3(v_3)$  «неприемлемая» («жесткая посадка»). Таким образом, при использовании свертки  $M_{-1}(w_b, y)$  неприемлемое значение вертикальной скорости можно скомпенсировать за счет остальных критериев и получить удовлетворительное качество посадки в целом, что противоречит здравому смыслу.

Таблица 2.1

Пример расчета свертки для вариантов посадки самолета

Показатель	Значения показателей и сверток для трех вариантов					
	$v_1$		$v_2$		$v_3$	
	$Y_i$	$y_i$	$Y_i$	$y_i$	$Y_i$	$y_i$
1	6 м	0.6 (Y/X)	3м	0.8 (X/B)	3м	0.8 (X/B)
2	3м	0.7 (X)	4м	0.6 (Y/X)	2м	0.8 (X/B)
3	0,2 м/с	0.8 (X/B)	0,6 м/с	0.4 (H)	0,71 м/с	0.29 (НП)
4	10,5 м	0.65 (X)	13,25 м	0.56 (H)	5м	0.83 (B)
5	7,25 м	0.64 (X)	10,5 м	0.48 (H)	10,5 м	0.5 (H/Y)
$M_{-1}(w_e, y)$	0,6811 (X)		0,5390 (Y)		0,5195 (Y)	
$M_{-3,81}(w, y)$	0,6908 (X)		0,4609 (H)		0,3563 (H)	

Использование свертки  $M_{-3,81}(w, y)$  дает оценки, которые лучше соответствуют здравому смыслу: для вариантов  $v_2$  и  $v_3$  низкое качество посадки (значение свертки меньше 0,5) обусловлено неприемлемым значением вертикальной скорости  $Y_3(v_2) = 0,6$  м/с и  $Y_3(v_3) = 0,71$  м/с («жесткая посадка»), которое нельзя скомпенсировать даже за счет ПЛ-значений остальных критериев.

### 3.1. Особенности оперативных задач в больших системах

На основе анализа материала, проведенного Д. Н. Завалишиной, было обнаружено, что структура задач, характерных для работы оператора большой системы, обладает следующими специфическими чертами:

1. Проблемность ситуации, т. е. конфликт между условиями и требованиями задачи, состоит главным образом в необходимости одновременного осуществления нескольких самостоятельных операций, связанных между собой общими условиями выполнения.

2. Наличие двух групп условий, элементов задачи — динамических (подвижной состав, локомотивы и т. д.) и статических (пути, направления и т. д.).

3. Качественная ограниченность элементов задачи, наличие у них незначительного количества свойств, которые необходимо учитывать при решении (например, путь характеризуется длиной, расположением; поезд — количеством вагонов, назначением и т. д.).

4. Изменчивость, динамичность характеристики ситуации в целом, в зависимости от различных сочетаний динамических и статических элементов управляемого объекта.

5. Решение задачи состоит в определенной пространственной комбинации (или перекомбинации), наличных (а также предполагаемых) элементов задачи на основе их динамической характеристики.

6. Решение задачи осуществляется путем некоторой последовательности шагов.

7. Задача может быть решена обычно несколькими вариантами разной степени оптимальности.

Особенности этих проблемных ситуаций, существенно отличающие их от задач, которые обычно используются в ходе экспериментального исследования по психологии мышления, выступают при рассмотрении конкретных задач, решенных дежурными различных станций.

Результатом процесса решения задач является план последовательности выполнения всей совокупности операций, рассчитанный на определенный отрезок времени и предусматривающий устранение возможной задержки движения поездов. Различные типы функциональных связей между компонентами плана находят свое выражение в его логической структуре.

Анализ полученного материала показал, что в структуру этого плана входят логические операции: конъюнкция в том случае, когда связь между производственными операциями выражается союзом (И), дизъюнкция (союзом ИЛИ), импликация (ЕСЛИ..., ТО...).

Совокупность действий и возможных событий на станции, отраженных в сознании дежурного и связанных между собой перечисленными логическими связями, и образуют логическую структуру плана дежурного на определенный отрезок времени.

При этом было обнаружено, что различные логические операции имеют в структуре плана различное функциональное значение.

Так, конъюнкция выступает в деятельности дежурного по станции в форме перечисления производственных операций, составляющих решение данной задачи. Конъюнкция выступает, например, в случаях планирования приема нескольких поездов на разные пути. (Последовательная конъюнкция как форма связи между операциями отчетливо видна в случаях планирования приема нескольких поездов на один путь. Например, отправлю горочный тепловоз по 4-му главному и сразу же после освобождения этого пути приму на него электровоз со станции В, а после прохода электровоза отправлю по 4-му пути маневровый тепловоз на станцию В.) Дизъюнкция и импликация как элементы плана представляют собой такую форму умственной деятельности дежурного, в которой выражается возможность появления тех или иных осложнений в ходе выполнения плана и варианты их устранения. Примером дизъюнкции может служить приведенная выше ситуация, которая ставила дежурного перед необходимостью или принять электропоезд, или отправить скорый. Простейшим примером импликации может служить следующая ситуация: дежурный получил через пульт управления сигнал о приближении динамической единицы (электропоезда или крана): «Если это кран — приму на 1-й путь, если это электропоезд — приму на 7-й», — таким образом спланировал он свои дальнейшие действия.

Как показало исследование, структура логических операций, составляющая план производственных операций дежурного по станции, может отразить индивидуальный стиль его оперативного мышления.

Рассмотрение логической структуры плана выполнения совокупности операций позволило наметить две формы оперативного планирования дежурного по станции, различия между которыми выступают при решении одних и тех же задач.

Первая форма планирования дежурного характеризуется преимущественным применением конъюнкции; дизъюнкция включается в структуру плана лишь в более сложных случаях, а импликация встречается крайне редко.

Для такого мышления характерна деятельность, представляющая собой как бы непосредственную реакцию на поступающую информацию о движении поездов. Для этой деятельности не свойственно предвидение возникновения обстоятельств, которые могут осложнить станционную работу, в связи с чем отсутствует расчет вариантов, предусматривающих их устранение.

Вторую форму оперативного планирования характеризует более полное и гибкое использование всех логических операций, а главное — частота употребления импликации, которая в осложненных ситуациях начинает играть ведущую роль в структуре плана.

Значение импликации состоит здесь главным образом в том, что она используется для включения в план запасных вариантов, один из которых используется при невозможности осуществить основной рассчитанный вариант.

Итак, дежурный по станции как представитель класса диспетчерских профессий осуществляет выработку плана работы железнодорожной станции — и в этом его значение как регулятора большой системы. Однако мыслительная деятельность дежурного была бы невозможна, если бы он не осуществлял процесса получения информации и ее хранения, т. е. необходимым звеном его мыслительной деятельности, регулирующей работу системы, являются такие психические процессы, как процессы данной системы, является дежурный по станции, деятельность которого, как и работа каждого регулятора, состоит в получении, хранении, переработке информации. Управляемым объектом является движение поездов на станции.

Анализ оперативного мышления, вплетенного непосредственно в процесс управления конкретной большой системой позволил определить, что мышление это состоит из трех компонентов:

- 1) динамическое моделирование управляемого объекта;
- 2) логические операции, входящие в структуру плана; к логическому компоненту мышления относятся и алгоритмы;

- 3) психологический процесс, приводящий к решению сложных, не встречавшихся ранее задач. На этом этапе исследования можно дать несколько более содержательную характеристику оперативного мышления: **это такой процесс решения практических задач, который осуществляется на основе моделирования человеком объектов трудовой деятельности и который приводит к формированию в данной ситуации модели предполагаемой совокупности действий (плана операции) с реальными объектами и процессами.**

Нетрудно увидеть, что из трех указанных компонентов оперативного мышления самым важным и самым неопределенным является деятельность по решению задач. С другой стороны, именно этот момент оперативного мышления труднее всего анализировать в ходе наблюдения за реальным трудом, например, дежурного по станции.

Единственным способом, который позволяет вскрыть структуру этого процесса, является эксперимент, воссоздающий в лабораторных условиях типичные моменты оперативных задач.

### **3.2. Требования к экспериментальной методике интеллектуального профотбора диспетчеров**

Перечисленные выше черты данного вида оперативных задач показывают, что в качестве экспериментальной методики не могут быть использованы обычно применяемые в психологии мышления приемы изучения продуктивного, творческого процесса. Как известно, в этих экспериментах отсутствует или неотчетливо выступает та многошаговость решения задач, возможность анализировать, сравнивать и отбирать различные совокупности шагов, приводящих к решению, которая была обнаружена при психологическом анализе оперативного мышления.

На основании этого анализа В. Н. Пушкиным сформулированы следующие требования к экспериментальной методике, которые отражают существенные черты оперативных проблемных ситуаций: 1) решение экспериментальных задач должно быть осуществлено определенной совокупностью шагов, связанных с перемещением некоторых объектов в пространстве; 2) задача должна иметь несколько решений разной степени оптимальности; 3) условия опыта должны допускать возможность варьирования проблемной ситуации, каждый вариант должен быть оценен по степени сложности. Кроме того, дей-



ствия по решению задачи (шаги) должны быть простыми и не требовать от испытуемого специальных знаний.

Будущая методика интеллектуального профотбора диспетчеров должна основываться на психологических механизмах процесса решения задач человеком. Из психологии мышления известно, что содержанием решения задач является последовательное познание свойств тех элементов, из которых складываются ее условия. В результате такого рассматривания человек обнаруживает то одни, то другие свойства. Это обнаружение признаков происходит под углом зрения заданной цели. Именно на основе такой динамики познания человек строит динамическую модель ситуации, работа которой приводит к решению. Такое понимание решения задач позволяет предположить, что методика, определяющая интеллектуальные возможности того или иного кандидата в диспетчеры, должна позволять регистрировать динамику познания свойств элементов задачи, тот процесс, в ходе которого устанавливаются отношения между заданными элементами с точки зрения конечной цели. Во всяком случае необходимо искать такую экспериментальную задачу, в которой испытуемый должен был бы спланировать перемещение некоторых объектов в пространстве.

В. Н. Пушкиным и Д. Н. Завалишиной было проведено экспериментальное исследование индивидуальных особенностей мышления. В качестве методики использовалось зрительное решение ситуаций игры «5». Для решения задач типа игры «5» необходимо преобразовать исходную комбинацию из пяти перенумерованных фишек, расположенных на шести клетках, в некоторую заданную последовательность. Это преобразование должно осуществляться с помощью перемещения одной какой-либо фишки на свободную клетку. Примером может служить задача преобразования ситуации

5	4	1	в ситуацию	1	2	3
	3	2			4	5

Как в исходной, так и в конечной ситуации свободна левая нижняя клетка, на которую и должна перемещаться фишка при первом ходе. В приведенном примере решением может быть двенадцатиходовый вариант, состоящий в перемещении всех фишек «по кругу» до тех пор, пока не будет достигнута нужная конечная ситуация.

Некоторые другие ситуации, используемые в экспериментальном исследовании В. Н. Пушкина и Д. Н. Завалишиной, приведены на рис. 3.1.

1.	Преобразовательную ситуацию	<table><tr><td>4</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td></td><td>2</td><td>5</td></tr></table>	4	1	3		2	5	в ситуацию	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td></td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3		4	5	(4 хода)		
4	1	3																	
	2	5																	
1	2	3																	
	4	5																	
2.	»	»	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td></td><td>4</td><td>2</td></tr></table>	1	3	5		4	2	»	»	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td></td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3		4	5	(6 ходов)
1	3	5																	
	4	2																	
1	2	3																	
	4	5																	
3.	»	»	<table><tr><td>4</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td></td><td>3</td><td>2</td></tr></table>	4	1	5		3	2	»	»	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td></td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3		4	5	(8 ходов)
4	1	5																	
	3	2																	
1	2	3																	
	4	5																	
4.	»	»	<table><tr><td>5</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td></td><td>3</td><td>4</td></tr></table>	5	1	2		3	4	»	»	<table><tr><td>5</td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td></td><td>3</td><td>2</td></tr></table>	5	4	1		3	2	(6 ходов)
5	1	2																	
	3	4																	
5	4	1																	
	3	2																	

Рис. 3.1. Ситуации, используемые в экспериментальном исследовании

Для оценки адекватности методики игра в «5» целям профотбора проанализируем результаты экспериментов В. Н. Пушкина и наших экспериментов с ситуациями, показанными на рис. 3.1. С помощью регистрации времени зрительного решения указанных задач В. Н. Пушкиным и Д. Н. Завалишиной были обследованы: одна группа машинистов (30 человек) и две группы поездных диспетчеров (36 человек). В качестве контрольной группы обследовались студенты МГУ (30 человек — журналисты, психологи, экономисты 3—4 курсов). Анализ результатов решения экспериментальных задач машинистами показал, что среднее время (в секундах) зрительного решения ситуации игры «5» представителями этой группы оказалось близким к временным параметрам решения этих же задач студентами. Сопоставление данных свидетельствует о том, что время решения задач машинистами не отличается от времени решения задач профессионально-нейтральной группы испытуемых.

Существенно иной характер, по мнению этих исследователей, носят временные параметры последовательного решения задач представителями диспетчерских профессий. Время решения первой задачи у диспетчеров выше, чем у машинистов и у представителей нейтральной группы испытуемых. Диспетчеры в среднем решали первую задачу 30 с (первая группа) и 27 с (вторая группа), среднее же время решения этой задачи машинистами составило 23 с, представителями нейтральной группы — 21 с. Еще больше временные различия между диспетчерами, машинистами и студентами оказались при решении

второй и третьей задач. В четвертой задаче вновь среднее время решения диспетчерами возросло по сравнению со средним временем студентов и машинистов.

Ввиду того что В. Н. Пушкин и Д. Н. Завалишина на основании результатов своих экспериментов делают далеко идущие выводы, приведем их полностью.

«Эти различия на первый взгляд могут показаться парадоксальными. Поскольку известно, что основным содержанием труда диспетчера является процесс решения задач, можно было предположить, что эта группа операторов по времени решения будет обнаруживать существенно более высокие результаты (т. е. меньшее время решения), чем группа машинистов и студентов. Некоторые данные, однако, противоречат этому предположению: первые две задачи и четвертую диспетчеры решали медленнее, чем машинисты и студенты. Сопоставляя этот факт с зарегистрированным у диспетчеров резким улучшением временных показателей при решении третьей задачи можно сделать вывод о том, что при решении первых двух задач диспетчеры проделали более тщательный анализ условий. Есть основание полагать, что эта тщательность анализа при решении незнакомых, новых задач является следствием характерной для диспетчера высокой ответственности за результаты его мыслительной деятельности. Одно из особенностей труда диспетчера является необходимость решать возникающие перед ним необычные, новые задачи не только быстро, но и оптимально. Большое производственное значение каждого принятого им решения вынуждает диспетчера нередко в трудовой деятельности поступаться временными параметрами решения в интересах безошибочности и оптимальности. Эта же потребность в тщательном анализе, развитая в оперативной деятельности, явилась, по-видимому, причиной и увеличения времени решения четвертой задачи. С другой стороны, факт значительного временного превосходства при решении третьей задачи несомненно говорит о существенно больших возможностях диспетчеров в отношении интеллектуального самообучения по сравнению с машинистами и представителями профессионально-нейтральной группы».

Для прояснения ситуации нами также были поставлены эксперименты по решению выше отмеченных задач. В них участвовало 300 студентов УрГУПС очной формы обучения и 60 диспетчеров (ДСП и ДНЦ) студентов-заочников. Полученные нами результаты отражены в табл. 3.1. Как видим, они не свидетельствуют о наличии существенных различий в обеих группах.

Таблица 3.1

№ задачи	Среднее время студентов	Среднее время диспетчеров
1	23	22
2	37	39
3	34	32
4	25	27

Подводя итог всем сериям опытов, можно сделать следующие выводы:

1. Решение оперативных задач есть процесс установления связей между элементами ситуации в их динамике. Установление связей между элементами обусловлено выявлением их свойств в ходе перемещения, которое меняет их характеристики.

2. Результатом этого процесса является создание динамической структуры условий, которая детерминирует дальнейшие действия по преобразованию ситуации.

3. Существенную роль в решении задач играет способ предъявления условий задачи. Задача решается тем успешнее, чем более способ ее предъявления обеспечивает установление связей между элементами и способствует их динамике.

Нетрудно заметить, все три вывода в той или иной мере свидетельствуют, что процесс решения задачи, начинающийся с анализа предложенной ситуации, закономерно проходит этап организации элементов задачи в единое целое. На основе такой организации элементов задачи, или структурирования, происходит формирование плана решения задачи как совокупности ходов по преобразованию проблемной ситуации в соответствии с требованиями задачи.

Когда человек приступает к решению данной задачи, каждый элемент ситуации существует для него сам по себе, независимо от других элементов, т. е. ситуация в целом выступает для него как простой набор не связанных между собой элементов, как некоторое неупорядоченное деструктурированное множество. В соответствии с таким первоначальным отражением условий задачи испытуемый организует свою деятельность по ее решению. В эксперименте (игра в «5») он фактически имеет пять объектов действия – пять фишек, каждую из которых он, как уже отмечалось, оценивает с точки зрения ее местоположения и стремится поставить на свое место. Естественно, что решение задачи в этих условиях затруднено, так как процесс решения

не подчинен единому плану и распадается на ряд отдельных, не связанных между собой, звеньев. На этом этапе решение задачи характеризуется значительной хаотичностью действий. Внешне решение задачи выглядит следующим образом: испытуемый ставит какую-нибудь фишку на место, затем переходит к другой фишке, но когда ему удастся поставить эту вторую фишку на нужную клетку, оказывается, что первая в это время сдвинулась со своей клетки, и испытуемый вынужден опять обратиться к ней. Так деструктурированность ситуации для испытуемого определяет характер его способа решения задачи. Типичным для этого этапа является следующий протокол.

Деятельность по организации, упорядочению элементов задачи в структурное целое, элементы которого выступают для испытуемого уже не разрозненными, а связанными между собой, и составляет сущность процесса структурирования.

В такой интерпретации процесса структурирования можно уловить связь с полученными методом рассуждения вслух в протоколах решения задачи испытуемыми видным представителем гештальтпсихологии Дункером 4-х функционально различных стадий:

- анализ материала;
- понимание конфликта;
- нахождение функционального решения;
- нахождение окончательного решения.

На первой стадии у человека складывается «первичный гештальт», то есть целостное представление о проблемной ситуации. Однако такой гештальт страдает противоречивостью и незавершенностью, и понимание этого конфликта запускает механизм переструктурирования проблемного поля с целью получения «хорошего гештальта». Далее наступает переход к следующей стадии — возникновение функционального решения. Здесь особо следует подчеркнуть, что функциональное решение возникает в результате мгновенного озарения (инсайта). Механизм инсайта гештальтпсихологами объясняется спонтанным переструктурированием проблемной ситуации.

Наконец, на последней четвертой стадии функциональное решение разрабатывается, конкретизируется, уточняется и превращается в окончательное решение.

Обобщая исследования представителей гештальтпсихологии, С. Л. Рубинштейн отмечал, что «они пытаются свести всякое решение задачи к такому преобразованию «структуры» ситуации», которое возможно производить только для ограниченного круга задач. Как правило, это задачи, «для решения которых все данные заключены

в наглядном содержании самой проблемной ситуации». Нам представляется, что данное определение Рубинштейна точно отражает, что в этот ограниченный круг попадает и игра в «5».

### 3.3. Критерии выбора оператора при решении проблем

В современной когнитивной психологии [6] решение проблем, в том числе и задач, подобных игре в «5», рассматривается в терминах поиска проблемного пространства, которое состоит из различных состояний проблемы. Состояние — это репрезентация проблемы на некотором этапе решения. Начальная ситуация решения проблем называется исходным состоянием, ситуации на пути к цели — промежуточными состояниями, а цель — целевым состоянием. Различные состояния, которые может достигать решающий проблему, определяют проблемное пространство или пространство состояний.

Операторы решения проблем могут рассматриваться как замена одного состояния в этом пространстве на другое. Проблема состоит в том, чтобы найти некоторую возможную последовательность операторов, меняющих исходное состояние на целевое состояние в проблемном пространстве. Рассмотрим характеристики проблемного пространства на примере игры в «5». Здесь присутствует рамка, состоящая из шести ячеек, пять из которых пронумерованы, а одна пуста. Это позволяет перемещать соседнюю с ней пронумерованную ячейку и таким образом присваивать пустой ячейке соответствующий номер. Цель состоит в том, чтобы получить определенную конфигурацию пронумерованных ячеек.

Например, проблема может заключаться в том, чтобы преобразовать

1	2	3
	4	5

в

4	1	3
	2	5

Возможные состояния этой проблемы представлены как конфигурации пронумерованных ячеек. Операторами, изменяющими состояния, являются передвижения пронумерованных ячеек на пустые места. Представим возможные пути решения проблемы в виде графа (рис. 3.2). Каким образом решающий проблему может выбирать операторы? Современная когнитивная психология выделяет три критерия, используемые людьми для выбора оператора. Первый из них — избегание повтора, или, другими словами, избегание операторов, которые уничтожают результат предыдущих операторов.

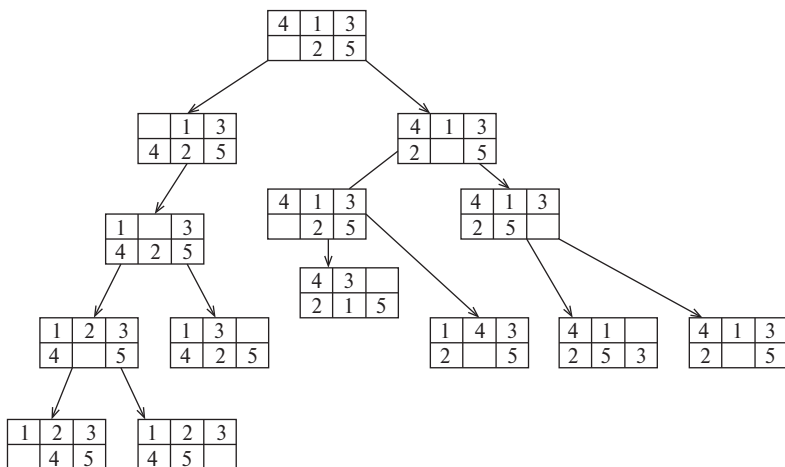


Рис. 3.2. Граф игры в «5»

Например, в игре в «5» испытуемые обнаруживают большое нежелание вернуться к сделанному шагу, даже если это необходимо для решения проблемы. Но само по себе избегание повтора не управляет выбором оператора. Оно настраивает решающего проблему против любого оператора, возвращающего его к предыдущему состоянию, но не дает никаких оснований для выбора из оставшихся операторов.

Другим критерием, которым руководствуются решатели проблем, выступает принцип уменьшения различия.

Этот метод заключается в том, что люди выбирают оператор, который уменьшает самое большое различие между текущим их состоянием и целью.

Об этом свидетельствует протокол решения испытуемым С задачи, представленной в виде графа (рис. 3.3).

«Для первого перемещения имелось два выбора: либо выбрать оператор, который перемещает ячейку 4 вниз в пустую ячейку, либо выбрать оператор, который перемещает ячейку 2 влево. Я выбрал первый оператор, потому что мне представилось, что это приближало меня к конечной цели. Я перемещал ячейку 4 ближе к ее конечной позиции».

Здесь выступает принцип уменьшения различия. А теперь посмотрим, как испытуемый С объясняет выбор своего второго хода.

«Очевидно, что надо выбрать оператор, который перемещает ячейку 1 влево. Если же выбрать оператор, перемещающий ячейку 4 вверх, то это приведет к повторению исходной позиции».

Здесь на первый план выступает принцип избегания повтора. Однако в некоторых случаях принцип уменьшения различия может ввести в заблуждение решающего проблему. В ряде ситуаций решения проблем верное решение предусматривает отрицание сходства. Показательным примером этого служит задача о людоедах и миссионерах.

Три миссионера и три людоеда должны перебраться через реку. У них есть одна лодка, в которой помещаются только двое. Во избежание трагедии нельзя оставлять вместе больше людоедов, чем миссионеров. Как переправиться через реку?

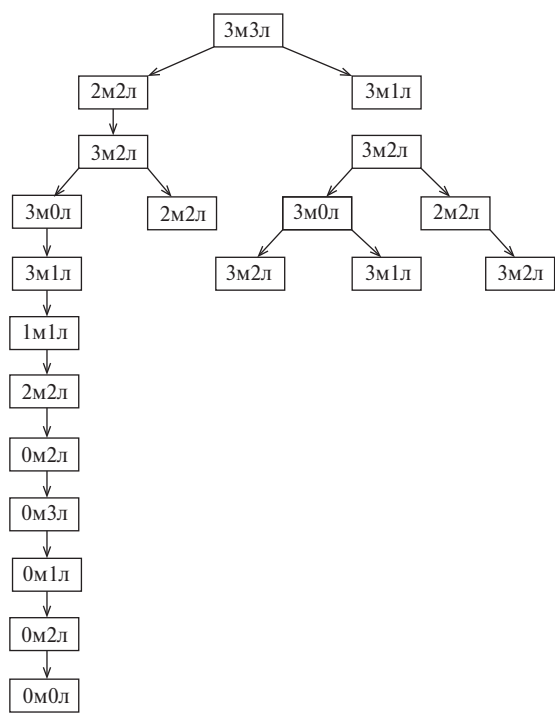


Рис. 3.3. Граф решения задачи о людоедах и миссионерах

В исходном состоянии три миссионера, три людоеда и лодка находятся на одной стороне реки. Затем один миссионер и один людоед на лодке переправляются на другой берег. На графе это состояние 2. В состоянии 3 один миссионер приехал на лодке обратно, что от-



ражено на графе. Каждое состояние на рисунке представляет новое сочетание людоедов, миссионеров и лодки.

Задачи, подобные задаче о людоедах и миссионерах, представляют определенный интерес с точки зрения диагностики оперативного мышления.

Наконец, третьим более сложным методом выбора оператора является метод анализа средств и целей.

Этот метод может рассматриваться как более сложная версия принципа уменьшения различия. Как тот, так и другой методы направлены на устранение различия между текущим состоянием и целевым. Но есть одно существенное отличие метода анализа средств и целей от метода уменьшения различий. Оно заключается в том, что анализ средств и целей не отбрасывает оператор, если его нельзя применить сразу. Этот метод иллюстрируют две блок-схемы, изображенные на рис. 3.4 и 3.5.

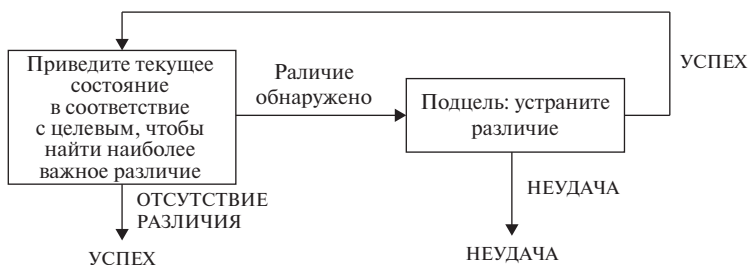


Рис. 3.4. Блок-схема 1: иллюстрация метода анализа средств и целей

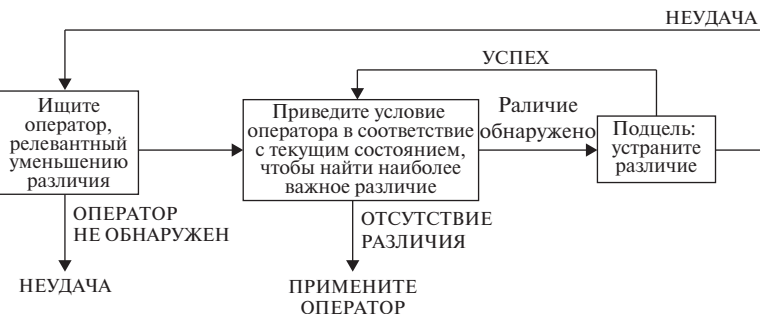


Рис. 3.5. Блок-схема 2: иллюстрация метода анализа средств и целей

### 3.4. Экспериментальное исследование решения оперативных задач

Для исследования особенностей оперативного мышления мы взяли задачу, которая в ее исходном виде служит тестом для отбора потенциальных специалистов в области IT технологий и носит название «японская переправа». Задача выглядит следующим образом.

Вам нужно переправить через реку с помощью одного плота семью (мать, отца, 2-х дочерей и 2-х сыновей) и полицейского с заключенным. Ограничивающие условия:

1. На плоту могут одновременно перемещаться максимум 2 человека.
2. Отцу не разрешается находиться с дочерьми без присутствия матери.
3. Матери не разрешается находиться с сыновьями без присутствия отца.
4. Заключенного нельзя оставлять без полицейского ни с одним из членов семьи.
5. Управлять плотом могут только полицейский и родители.

Суть игры заключается в том, чтобы за меньшее количество логических операций перевести всех персонажей, представленных на одном берегу, на противоположный берег. Сложность задачи заключается в большом количестве логических условий, которые испытуемый должен запомнить. Представляя данную задачу в виде графа (рис. 3.6), можно заметить, что он в сравнении с графом игры «5» носит менее разветвленный характер.

Использование этой игры в качестве методики исследования процесса решения оперативных задач в лабораторных условиях объясняется тем, что она отвечает всем указанным выше требованиям и поэтому адекватно отражает процесс решения задач человеком-оператором в реальной деятельности. С помощью этой методики нами и под нашим руководством С. Свердловым было проведено на большом количестве испытуемых детальное исследование оперативного мышления. В разделе данной главы приводятся некоторые материалы и выводы этой работы, которые позволяют глубже понять психологические особенности процесса решения задач в ходе управления большими системами.

**1-я серия.** В этой серии экспериментов испытуемые решали задачу без компьютера.

В ходе проведения опытов были обнаружены две формы решения задач. Характерным примером первой формы является следующая выдержка из протокола.



## Выдержка из протокола испытуемого Н

Предложили решить задачу самостоятельно, получил условия, несколько листов бумаги и ручку. Принялся за решение. Сначала нарисовал схему того, как располагаются два берега, плот и персонажи. Написал для себя рядом условия несколькими короткими фразами, для удобства. Попробовал представить, какие возможны ходы, с листочком это нагляднее и получается легче. Подумал, что сначала можно переместить родителей, но затем понял, что условия нарушатся, если они не поедут обратно вместе. А больше переправлять и некого, только полицейского и заключенного. Подумал над условием, что заключенный с людьми оставаться не может без стражи, но он ведь один останется затем. Поэтому переправил его, вернул полицейского, и чтобы условия не нарушались, отправил полицейского с сыном. Оставил сына на другом берегу и вернул полицейского с заключенным. Снова подумал переправить обоих родителей, чтобы затем переправить по очереди детей. Но представил ходы дальше и увидел несовпадение с условиями. Поэтому отправил отца с сыном на второй берег и оставил там уже двух сыновей. Подумал сразу соединить отца с сыновьями в группу и с помощью матери переправил отца на другой берег. На начальной позиции остались мать, две дочери и полицейский с заключенным. Здесь надолго задержался. Сначала с ходу переправил мать и дочь, а затем вернул отца с матерью обратно, чтобы условия не нарушались. Но потом понял, что дальше решение не идет. Задумался, попробовал представить другое решение. Вернулся к ходу, где еще только собирался переправить отца с матерью на другой берег. Зачеркнул все решение до этого. Но сделать другой ход там не получалось, иначе пришлось бы заново все решать. Повторил отправку отца на другой берег и вернул мать, как и раньше. Не увидел других вариантов отправить дочерей. И тут вспомнил про полицейского и заключенного. Сомневался, зачем нужен такой ход, сейчас заключенного на острове не оставить, там другие люди точно будут. Но не нашел другого выхода, отправил. И тут понял, что плот то тоже играет важную роль. Точнее, его положение у того или иного берега. А сейчас как раз хорошо получалось, можно отправить обратно отца. Сына с ним решил не отправлять, чтобы держать отдельно две группы детей. Отправил отца с матерью, чтобы оставить отца снова с детьми, но поместить плот у начального берега и переправить мать и одну дочь. Затем вернул мать, чтобы забрать вторую дочь, забрал ее и перевез. Задача решилась. Но посчитал ходы и понял, что где-то ошибся. Задача должна решаться за 17 ходов, поэтому начал искать ошибку. Переписал решение, чтобы не было зачеркиваний. На последних ходах увидел, что оставил дочь с отцом без матери на втором берегу. Вернулся к этому ходу. Подумал пару минут и понял, что нужно совершить ту же операцию, что и сначала, с помощью полицейского и заключенного переправить на другой берег ребенка, только сейчас дочь. Оставил заключенного одного на первоначальном берегу и вернул за ним полицейского. Таким образом, задача и решилась за 17 ходов.

Для второй формы характерна целенаправленная деятельность, основанная на формировании плана и приводящая к более экономичному ходу решения. Следующая выдержка может служить примером этой целенаправленной деятельности по решению задачи.

### **Выдержка из протокола испытуемого С**

Вначале внимательно изучил условия. Затем принялся за решение. Сначала нарисовал схему того, как располагаются два берега, плот и люди. После этого ввел символические обозначения для каждого (О,с,с,М,д,д,П,З). Попробовал представить, какие возможны ходы. Заметил, что первым ходом, при котором не нарушаются условия, можно или переместить отца с матерью, или полицейского вместе с заключенным. Но если сначала переместить родителей, то на следующем ходу их надо возвращать, иначе условия будут нарушены. Значит, надо переправлять полицейского и заключенного. Этот момент навел меня на мысль о том, что каждый ход необходимо соотносить с условиями и предусматривать, что произойдет на следующем ходу. Я также подумал, что необходимо стремиться оставить на другом берегу мать с дочерьми или отца с сыновьями. Дальнейшие ходы не вызвали особых трудностей, потому что только они удовлетворяли всем условиям задачи. Определенные затруднения произошли на девятом ходу, потому что здесь пришлось просчитывать варианты и соотносить с условиями на два-три хода. После нахождения правильного хода (переправа ПЗ на другой берег) дальнейшие семь ходов не вызвали затруднений. Таким образом, задача была решена за 17 ходов.

### **2-я серия опытов**

Другая группа испытуемых решала задачу при помощи компьютерной программы, которая сигнализировала, если делается невозможный ход (ход, при котором нарушаются условия), а также, если испытуемый производил не оптимальный ход. В эту группу вошли те испытуемые, которые не смогли решить задачу самостоятельно без помощи программы, а также новые испытуемые, ранее не решавшие эту задачу.

Следующая выдержка из протокола иллюстрирует процесс решения задачи «японская переправа» с помощью компьютерной программы.

### **Выдержка из протокола испытуемого В**

Мне предложили решить задачу с помощью компьютерной программы. Объяснили технику работы с программой, т. е. как помещать персонажей на плот и на берег, как подтверждать ходы. Приступил к решению задачи.

Сначала представил, как буду идти по ходу решения. Понажимал несколько вариантов, программа не давала сделать ходы, потому что условия нарушались. Понял, что начать нужно с полицейского и заключенного. Переправил заключенного, полицейского вернул. С полицейским перевез на плоту дочку. Вторую дочку с мамой отправил. Маму вернул, отправил ее с отцом. Вернул отца. Решил дальше отправлять отца с сыном, поместил их на плот, но программа не дала совершить этот ход. Появилось сообщение, что данный ход неоптимален. Понял, что дальше пришлось бы совершать лишние ходы и все равно вернуться к той же ситуации. Попробовал еще понабирать разных вариантов. Программа разрешила отправить на другой берег полицейского с заключенным. Здесь осознал, что дальше нужно отправить мать за отцом, и этот ход позволил перевести плот в правильное положение. Привел плот с матерью и забрал отца. Вместе с отцом переправил сына на нужный берег. Снова хотел отправить отца за сыном, но программа не разрешила сделать такой ход. Увидел, что мать на этом берегу останется одна не только с дочерьми, но и с сыном, что противоречит условиям. Добавил на плот мать, но программа снова предупредила, что ход будет неоптимальным. Тогда вспомнил, что с помощью полицейского и заключенного менял положение плота. Перевел их на начальный берег, с помощью полицейского перевез сына и оставил заключенного, за которым на следующий ход и вернулся. Задача была решена.

Временные показатели испытуемых отражены в табл. 3.2.

*Таблица 3.2*

Время решения без программы	Время решения с программой
Среднее по группе	Среднее по группе
35,75	5,95
Среднеквадратичное отклонение	Среднеквадратичное отклонение
8,23	1,93
Дисперсия	Дисперсия
67.67	3,73

## **Обсуждение результатов проведенных экспериментов**

Эксперименты, проведенные без компьютерной программы, показали, что далеко не все испытуемые в состоянии решить предложенную задачу. Всего в наших экспериментах было задействовано 520 человек (студенты 2, 3, 4-х курсов). Из общего числа испытуе-

мых только 150 испытуемых были в состоянии решить задачу в приемлемое время (менее 50 минут).

Наблюдения и последующий анализ позволили выявить три основных причины этого:

1. Непрочное усвоение условий задачи.
2. Неумение предвидеть, как соотносится выбираемый оператор с последующим оператором и условиями задачи.
3. Психологическая неуверенность в правильности выбираемого оператора.

Анализируя процесс решения и сделанные ошибки успешных испытуемых (выдержки из протоколов двоих из них были приведены выше), необходимо отметить прежде всего точное усвоение условий задачи и соотнесение выбираемого оператора с последующим оператором и условиями задачи. Это позволяет им избегать повторов и уверенно двигаться по пути оптимального решения. Также этих испытуемых отличает организация решения задачи, которая включает поиск соответствующих подцелей и их оценку.

В экспериментах, проведенных с помощью компьютерной программы, как было сказано выше, приняли участие испытуемые, которые не смогли решить задачу самостоятельно без помощи программы, а также новые испытуемые, ранее не решавшие эту задачу.

Следует подчеркнуть, что все испытуемые успешно справились с решением, что объясняется следующим. Во-первых, приданием решающему психологической уверенности в правильности выбираемого оператора, так как программа запрещала невозможные (нарушающие условия) и неоптимальные (требующие возврата) ходы и пропускала только правильные. Во-вторых, возможностью быстрого перебора операторов, выбора из них одного, ведущего к цели, т. е. проведением процесса *анализ средства — результат*. Этот процесс начинается с имеющихся данных и далее заключается в проведении допустимых преобразований. В-третьих, развитием способности к организации решения задачи, которая при самостоятельной процедуре решения у этих испытуемых не проявлялась.

Наконец, применение компьютерной программы обеспечивает приближенность условий данного типа задач к ситуациям «практического мышления», когда нахождение решения поставлено в определенные временные рамки. В этом нетрудно убедиться, если обратиться к табл. 3.2.

### 3.5. Решение оперативных задач в условиях неопределенности

Дальнейшее исследование процесса решения оперативных задач проходило в условиях разной степени неопределенности для решателей. Эта разная степень поддерживалась применением компьютерной программы, позволяющей оценивать каждый шаг испытуемого, решающего задачу, и усложнением начальных условий.

Диалог человека с компьютером, начиная с 80-х годов прошлого столетия, постепенно становится объектом внимания психологов. В первую очередь в качестве предмета изучения ими были выделены такие новые по сравнению с традиционными проблемами психологии мышления аспекты, как влияние языков программирования на решение задач, потребности пользователей, эффекты персонификации, факторы понимания сообщений, формы представления информации и др.

С 90-х годов прошлого столетия диалог человека с компьютером стал рассматриваться психологами (Т. В. Корнилова, О. К. Тихомиров) прежде всего в аспекте принятия интеллектуальных решений. Развивая теоретическое наследие Л. С. Выготского и, прежде всего, его культурно-историческую концепцию, эти авторы подчеркивают два момента внешних показателей специфичности использования искусственных средств, в качестве которых применяется компьютер с соответствующими программами: 1) представленность в компьютерных данных не только «чужих» знаний, но и таких свойств ситуации, которые самостоятельно не могут быть раскрыты пользователем. Следовательно, данные, представляемые компьютером, можно рассматривать в качестве посредников между индивидуальными и общественно выработанными и закреплёнными программно знаниями других людей; 2) приближенность условий к ситуациям «практического мышления», когда нахождение решения поставлено в определенные временные рамки и оперативное превращение намеченных решений в практических преобразованиях ситуации предъявляет повышенные требования к саморегуляции действий.

С целью изучения процессов внутренней перестройки интеллектуальных решений, опосредствованных получением от компьютера оценки ситуации после выбора соответствующего оператора, мы использовали следующую экспериментальную процедуру. Выбор оператора всегда осуществляется человеком, компьютер же в соответствии с заложенными в его память ограничительными условиями и оптимальной последовательностью операторов дает оценку каждому выбранному решателем оператору.



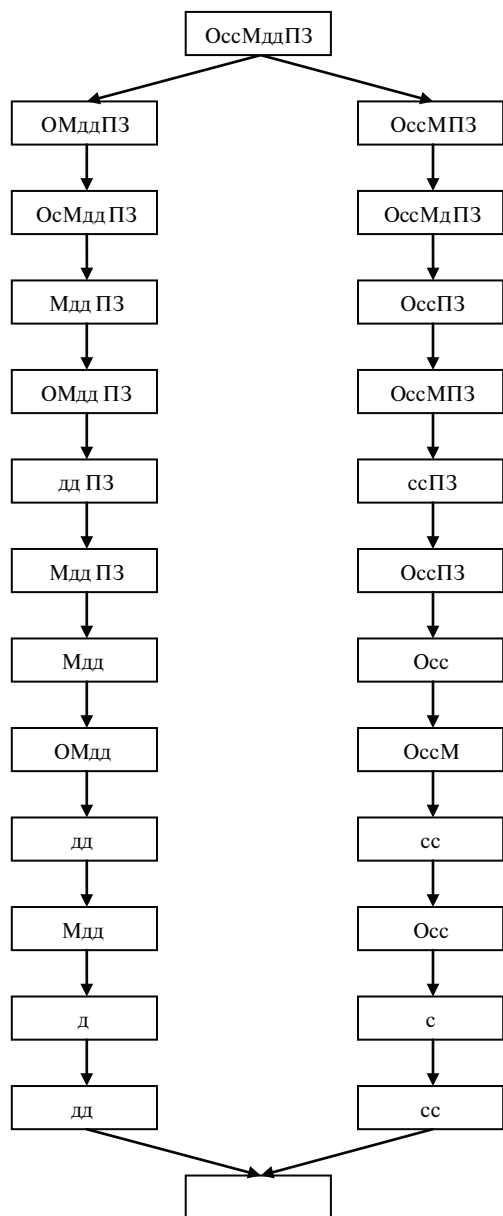
### 3-я серия опытов (неопределенность первого уровня)

В этой серии опытов группа испытуемых, ранее не знакомых с условиями задачи, решала ее, когда условие 5 «Управлять плотом могут только полицейский и родители, (т. е. дети не могут управлять плотом)» не было дано. Ниже представлена выдержка из протокола испытуемого К.

«Сначала я постарался представить, какие возможны ходы дальше, какие ситуации могут быть по ходу задачи в целом. Понял, что можно сразу переправить сыновей или дочерей, так и поступил, переправил сыновей на другой берег. Затем одного вернул и уже вместе с отцом отправил повторно. Далее вернул отца на исходный берег и переправил его с матерью. Затем вернул мать обратно, вспомнил насчет полицейского и заключенного и решил переправить их в этот раз. Обратно переправил отца, чтобы он забрал мать. Сначала думал, что получится перевезти на плоту сразу двух дочерей последним ходом, уже когда плот снова вернется, но понял, что при этом нарушится условие. Ведь когда я отправил отца с матерью на другой берег, плот должен был кто-то вернуть на исходный берег, поэтому пришлось отправить мать за дочерьми. Подумал еще, что можно переправить обратно полицейского и заключенного, но тогда пришлось бы делать больше ходов, и это не привело бы к быстрому решению задачи, а только заняло бы дополнительные ходы. Поэтому переправил одну дочь вместе с матерью и вернул дочь за второй. И вот теперь обе дочери переправились вместе на другой берег и задача была решена.

Граф решения в этом случае приведен на с. 82.

Я затратил на решение 13 ходов. Однако затем мне сказали, что задача решается в 17 ходов, благодаря наличию еще одного условия. Вспомнил, что можно было переправить полицейского и заключенного и получить более длинное решение. Но тогда все еще непонятно, какое условие было новым. Полицейский и заключенный должны были вернуться один раз обратно? Нет, не похоже, что это то условие. Сидел дальше над задачей, старался понять, но не особо получалось. Тогда мне предложили решить эту задачу с помощью компьютера, который знал четвертое условие. Начал решать. Но как только компьютер запретил мне первый же мой ход из решения, которым пользовался раньше, понял неизвестное условие. На бумаге я просто рисовал схемы решения и оба берега для меня были только лишь линиями на небольшом расстоянии друг от друга. А на картинке с компьютера река была достаточно большой. И дети, видимо, не могли сами управлять на ней плотом без помощи взрослых. Потратил некоторое время, чтобы представить, какие можно совершить ходы в этом случае. Вспомнил вариант, в котором оставлял заключенного одного на одном из берегов, ведь это не нарушало условия задачи. Попробовал так сделать, все получилось. Ну а дальше, как по накатанной, переправлял сыновей с отцом и решил за те самые 17 ходов. Пришлось, правда, еще подумать над одной ситуацией, где нужно переправить полицейского и заключенного второй раз на тот берег, но с помощью компьютера и этот момент понял и решил. Другие ходы были неоптимальными».



#### **4-я серия опытов (неопределенность второго уровня).**

В этой серии опытов группа испытуемых, ранее не знакомых с условиями задачи, решала ее, когда условие 2 «Отцу не разрешается находиться с дочерьми без присутствия матери» не было дано.

Ниже представлена выдержка из протокола испытуемого Д.

«Когда прочитал условие, что мать не может оставаться с сыновьями без присутствия отца, поразмыслил, что это даст. Отправил сначала мать и дочь, раз они с большими трудностями в условиях прописаны. Потом мать вернул обратно на первый берег и отправил ее со второй дочерью. Когда отец с сыновьями остался один, отправил на тот берег полицейского и заключенного, чтобы потом ребенку не пришлось плотом управлять. Вернул мать еще раз, отправил отца и мать, раз тут уже трудности возникали с сыновьями и матерью. Потом переправлял сыновей с отцом по очереди. На последних ходах вернул полицейского и заключенного, чтобы полицейский помог перебраться второму сыну, а заключенный остался на берегу один. Ну а затем полицейский вернулся за заключенным и забрал его, так задача и решилась.

Затем мне сообщили, что в этой задаче есть еще одно скрытое условие, предложили найти. Не понимал, что еще здесь можно изменить. Затем предложили пройти на компьютере эту же задачу, чтобы компьютер направлял по ходу решения. И там уже стало понятно, что мать и отец к детям противоположного пола одинаково относятся и оставаться друг с другом не могут отдельно, если не в паре с супругами. Насчет этого подумал, когда компьютер посчитал неоптимальным с самого начала отца с сыном отправлять, равно как и мать с дочерью. А потом нужно было возвращать или мать, или отца на первый берег за сыновьями. Мать нельзя было вернуть, а отца вернуть удалось — компьютер не запретил. И тут я понял, что это было за условие неизвестное. Тогда вот решение пошло, все получилось».

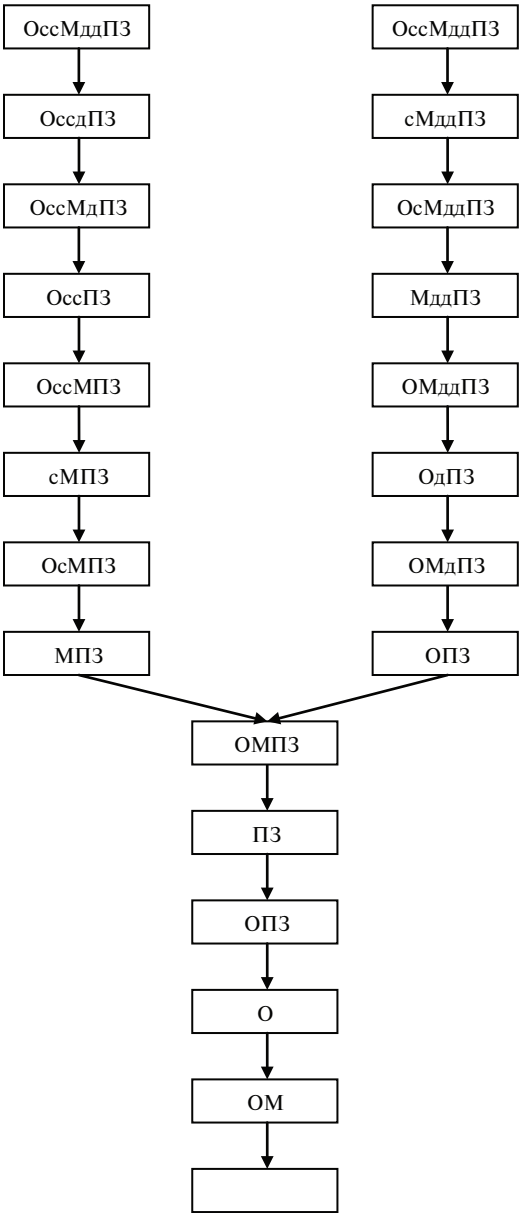
#### **5-я серия опытов (неопределенность третьего уровня).**

В этой серии опытов группа испытуемых, ранее не знакомых с условиями задачи, решала ее, когда условия «2. Отцу не разрешается находиться с дочерьми без присутствия матери и 3. Матери не разрешается находиться с сыновьями без присутствия отца» не были даны.

Ниже представлена выдержка из протокола испытуемого М.

«Сначала подумал, что все решается просто. Отправил отца с сыном, вернул отца, переправил отца со вторым сыном, вернул отца. Затем переправил мать с дочерью, вернул мать, еще одну дочь с ней переправил. Остались отец и полицейский с заключенным, к которым отправил обратно мать. И тут уже переправил их вместе, потом отца вернул, затем полицейского с заключенным переправил. Мать на плоту вернулась и отца забрала. Такое вот решение и получилось за 13 ходов.

Граф решения в этом случае показан ниже.



Но мне сказали, что в задаче есть еще два условия, и в этом случае задача решается за 17 ходов. Не получалось сначала догадаться, что это за условия такие сложные, предложили с помощью компьютера задачу решить. Компьютер показывал верные или неверные ходы делаю, поэтому сначала просто наугад пробовал. И до конца почти не было понятно, что это за условия такие. Уже после решения понял, что родителей одних не оставлял с детьми ни разу. Причем именно отца с дочерьми без матери и наоборот мать с сыновьями. А до этого просто решал с компьютером и нашел верное решение».

### **Обсуждение результатов проведенных экспериментов (3, 4, 5-я серии)**

Эксперименты, направленные на исследование процесса решения оперативных задач в условиях разной степени неопределенности для решателей, выявили ряд существенных особенностей.

Во-первых, при отсутствии одного или двух условий испытуемые проще справляются с решением задачи. Это объясняется большей свободой выбора оператора, так как легче предвидеть, как соотносится выбираемый оператор с последующим и условиями задачи.

Во-вторых, испытуемые не в состоянии найти отсутствующее условие без помощи компьютерной программы. Для объяснения этого можно привлечь метод анализа средств и целей. Действительно, для реализации поставленной цели — нахождения отсутствующего условия — у решателя не хватает средств, которые бы позволили ему выбрать оператор, ведущий к цели.

В-третьих, привлечение компьютерной программы позволяет получить эффективное средство для достижения цели. Как показывают протоколы, испытуемые по-разному ведут себя при различных уровнях неопределенности.

Так, испытуемый К (неопределенность первого уровня) уже при первом неуспехе выбора оператора выдвинул правильное предположение относительно отсутствующего условия. Причем сделал это, опираясь на свой житейский опыт: так как на картинке с компьютера река была достаточно большой, дети не должны управлять на ней плотом без помощи взрослых. Испытуемый Д (неопределенность второго уровня) действовал так, как предписывает метод анализа средств и целей (рис. 3.4).

Испытуемый М, решая задачу с потерей двух условий сразу (неопределенность третьего уровня), применил весьма оригинальную

и, на наш взгляд, оптимальную стратегию поиска недостающих условий. Используя компьютерную программу, он на каждом ходе выбирает оператор, разрешенный ею, и таким образом перевозит всех персонажей с одного берега на другой берег за 17 ходов.

После этого испытуемый М производит анализ возникающих состояний после каждого хода, и находит недостающие условия.

## Глава 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УТОМЛЕНИЯ

---

### 4.1. Теоретические проблемы исследования утомления

#### 4.1.1. Определение понятия «состояние человека-оператора»

Человек, различные стороны его жизни и деятельности, являются объектом исследования антропологов, медиков, психологов и других специалистов. Каждый из них рассматривает человека в рамках своего научного направления, и у каждого из них может существовать свое определение состояния человека. Рассматривая задачи, связанные с построением систем диагностики состояния человека-оператора, необходимо прежде всего определить место изучаемых вопросов среди близких научных направлений.

Поскольку мы исследуем человека-оператора, задачей диагностики должно быть определение соответствия данного индивида данному виду труда. Всякая трудовая деятельность требует наличия у человека определенных качеств, умений. Одним из условий успешного функционирования системы человек-машина является соответствие структуры способностей и личностных качеств оператора структуре производственной деятельности.

На раннем этапе взаимодействия человека и производства, на этапе общей подготовки, выявляются личностные качества индивида, структура его способностей. Выявление этих параметров и сопоставление их с профессионально необходимыми — круг вопросов одного из направлений психологии и физиологии труда — профессиональной ориентации. При этом определяются виды деятельности, где качества и способности данной личности могут проявиться с наибольшей полнотой.

В настоящее время все большее внимание уделяется задачам профессионального отбора, цель которого сводится к выявлению и сопоставлению личностных качеств и структуры способностей индивида применительно к конкретному виду труда. На основе такого

сопоставления делается вывод о целесообразности допуска данного человека к работе или учебе.

Однако наличие необходимых способностей, соответствие личностных качеств требуемым — необходимое, но не достаточное условие включения данного человека в производственный процесс. Необходимы развитие, шлифовка выявленных в процессе профотбора способностей, выработка на их основе умений и навыков, определяющих плодотворность деятельности. Такой круг вопросов возлагается на специалистов профессионального обучения. В дальнейшем изложении рассмотрим эти проблемы.

Задачей диагностики состояния оператора является установление степени текущего соответствия структуры способностей и личностных качеств оператора структуре производственной деятельности. Текущее соответствие структур определяет способность оператора к выполнению поставленных перед ним задач, степень его профессиональной пригодности непосредственно в процессе трудовой деятельности.

Задачи, решаемые в рамках данного научного направления, могут быть сформулированы следующим образом.

1. Изучение признаков состояний.
2. Разработка методов и принципов диагностики состояний человека-оператора.
3. Оптимизация систем диагностики.

Решение задачи автоматической диагностики состояния оператора является предпосылкой решения целого ряда весьма интересных вопросов. В первую очередь это касается задачи прогнозирования и управления состоянием человека-оператора и задачи динамического распределения заданий между операторами или между операторами и автоматами. Прогнозирование и управление состоянием оператора необходимо для поддержания соответствия структур в целях сохранения оптимального функционирования системы человек-машина. Оптимальность может быть достигнута с помощью системы различных воздействий, специально предназначенных для этих целей (изменение характера работы, включение функциональной музыки, фармакологические воздействия и т. д.). Основанием для применения тех или иных воздействий является оценка состояния оператора.

Задача динамического распределения заданий может быть сформулирована следующим образом: обеспечение оптимального соответствия структуры способностей и личностных качеств человека-опе-



ратора структуре производственной деятельности путем изменения последней на основе данных контроля за состоянием оператора. Необходимо отметить, что наличие в системе человек-машина системы динамического распределения обязанностей между операторами или между человеком и автоматами позволит в ряде случаев сэкономить время на разработку полуавтоматических систем управления, обеспечить высокий уровень соответствия этих систем психофизиологическим возможностям операторов, удешевить эти системы, повысить качество и надежность их работы.

В силу того что понятие о соответствии структур охватывает весьма обширный раздел науки о человеке, имеет смысл сформулировать понятие «состояние человека-оператора», пользуясь этим критерием. Будем считать, что операторы, для которых разрабатываются системы диагностики, прошли профотбор. Это дает возможность не рассматривать личностные качества оператора, которые в силу своей типологической обусловленности весьма консервативны и не изменяются в процессе трудовой деятельности.

Под состоянием человека-оператора будем понимать степень текущего соответствия структуры способностей структуре производственной деятельности. Степень текущего соответствия определяет профессиональную пригодность оператора на момент диагностики, способность выполнить поставленную перед ним задачу. Изучению различных сторон состояния человека-оператора посвящено большое число статей и монографий, в которых исследуются уровень быстрой реакции, работоспособность, уровень эмоционального напряжения, состояние центральной и вегетативной нервной системы, субъективные состояния человека в процессе трудовой деятельности. В дальнейшем изложении мы рассмотрим важнейшее функциональное состояние организма оператора — утомление.

#### **4.1.2. Определение понятия «утомление»**

Способность оператора к выявлению критических сигналов (этапонов) в большой степени зависит от его состояния. В результате исследований ряда ученых [54, 88, 62] и в процессе наших собственных наблюдений установлено, что даже дежурства, в течение которых операторы не производят никаких операций, приводят к нервному утомлению. По окончании смены операторы не в состоянии порой заниматься какой-либо умственной деятельностью, плохо спят, у них резко повышается раздражимость. Это объясняется двумя факторами: постоянным эмоциональным напряжением, вызванным

ожиданием возможной аварии, и исключительно ответственным характером операций, осуществляемых в плановом порядке.

Для операторов, осуществляющих функцию слежения первого вида, еще в 60-х годах прошлого века делалась попытка разработки системы, позволяющей предотвратить развитие гипнотических состояний или принять меры для своевременной реакции на них [28]. Система основана на контроле времени реакции оператора на условный раздражитель, поступающий по основному каналу информационной связи машины с оператором и выполнении условной операции, наиболее близкой к основной работе. Однако своевременное обнаружение аварийной ситуации не дает гарантии адекватности поступков оператора сложившимся обстоятельствам. Поэтому исследование утомления имеет важнейшее значение для инженерной психологии.

Традиционно в психологической литературе утомление определяется как функциональное состояние организма, проявляющееся во временном снижении работоспособности под влиянием длительного воздействия нагрузки. Оно возникает вследствие истощения внутренних ресурсов индивида и рассогласования в работе, обеспечивающих деятельность систем.

Данное определение отражает три обязательных признака утомления: во-первых, уменьшение работоспособности; во-вторых, предшествующая длительная или напряженная работа; в-третьих, уменьшение работоспособности является временным, обратимым.

Основной причиной утомления является интенсивная и длительная рабочая нагрузка. Для умственного утомления такая нагрузка обычно связана с интеллектуальной деятельностью по преобразованию большого потока информации, работой при временных ограничениях, сложности и ответственности задания. Нагрузкой может быть и физическая работа по поддержанию вынужденной позы, перемещению органов управления и т. д.

К дополнительным причинам утомления, которые могут ускорить развитие этого состояния или усилить выраженность его проявлений, следует отнести: воздействие на организм неблагоприятных факторов среды (шум, вибрация, гипоксия и т. д.); повышенное нервно-психическое напряжение, эмоциональный стресс; чрезмерную по интенсивности физическую и умственную нагрузку перед основной работой.

В качестве факторов, предрасполагающих к возникновению утомления, выступают: нарушение рационального режима труда, отдыха

и питания; длительные перерывы между работой (профессиональная дезадаптация); остаточные функциональные нарушения (снижение резервов организма) после болезни; недостаточное физическое развитие; наличие вредных привычек; недостаточный уровень физической подготовленности и т. д. [76,77].

В зарубежных теориях часто выделяют следующие группы условий, способствующих развитию состояния утомления [23, 93, 101,129]:

- объем работы;
- сенсорная нагрузка (вклад данного фактора определяется отношением требований деятельности к сенсорным возможностям субъекта);
- режим работы и его влияние на сон;
- психологические аспекты деятельности (к этой группе условий относятся такие факторы, как: понимание цели деятельности — оно предотвращает нарастание состояния утомления; возможность решения проблемы, решаемой субъектом; мотивация);
- физические аспекты деятельности (условия, в рамках которых субъект осуществляет свою деятельность: температурный режим; уровень шума, химический состав воздуха и т. д.);
- личностные характеристики субъекта деятельности (эта группа условий во многом обуславливает существование индивидуальных различий в восприимчивости к утомлению): направленность личности (экстраверты в среднем лучше переносят состояние утомления, чем интроверты), уровень ответственности (субъекты, рассматривающие свою работу как постоянную, лучше справляются с состоянием утомления, чем те, кто рассматривает ее как временную).

Утомление имеет разнообразные проявления на физиологическом, поведенческом и психологическом уровнях [101].

С физиологической стороны развитие утомления свидетельствует о значительном сокращении внутренних резервов организма и переходе на менее выгодные виды режима работы: поддержание минутного объема крови за счет учащения сердца вместо увеличения ударного объема; двигательные реакции осуществляются с вовлечением большого числа мышечных групп; при ослаблении силы сокращения отдельных мышц нарушаются сила и скорость сокращений, устойчивость вегетативных функций, происходит вегетативная декомпенсация, изменяются процессы высшей нервной деятельности, затрудняется выработка временных связей, возрастает количество ошибочных действий; повышается инертность в динамике нервных процессов.

На поведенческом уровне наблюдаются такие значимые изменения, как снижение производительности труда, скорости и качества работы.

Со стороны психической сферы при утомлении ослабляются процессы внимания, его устойчивость и переключаемость, снижается сенсорная чувствительность, возрастают абсолютные и дифференциальные пороги; увеличивается время реакции, однако может возрасти скорость ответов с увеличением числа ошибок; ослабляются волевые возможности субъекта; возможности извлечения информации из памяти, ухудшается эффективность процессов мышления за счет преобладания стереотипных способов, когда требуется принятие новых решений; нарушается сознательный контроль за деятельностью; происходят сдвиги в эмоционально-мотивационной сфере.

Утомление выражено и в субъективных переживаниях человека. С разной степенью осознанности воспринимается состояние физиологического и психического дискомфорта: потливость, одышка, тремор, нелокализуемые боли, нарушение характеристик внимания, дефекты мышления и памяти, расстройства в сенсорной сфере, ослабление воли. При сильных степенях утомления наблюдаются негативно окрашенные эмоциональные переживания: отвращение к работе, раздражительность, неприязнь к окружающему. Состояние утомления сопровождается снижением мотивации к работе, что находит свое отражение в сознании в виде ощущения внутреннего препятствия и желания прекратить работу или снизить нагрузку, которое называется усталостью. Таким образом, усталость — психическое явление, переживание, вызываемое утомлением.

Следовательно, мы видим, что утомление имеет широкий спектр проявлений на разных уровнях функционирования субъекта. Именно этим фактом объясняется существование большого количества подходов к определению утомления. Кроме того, существуют разные виды утомления, что мы рассмотрим подробнее в следующей главе. Но, забегаая вперед, скажем, что нас будет интересовать преимущественно умственное утомление. А в поисках определения, которое будет лежать в основе нашего исследования, обратимся к работе, посвященной психометрике утомления, [47]. В ней, как и в ряде работ других авторов, в том числе и зарубежных, отмечается, что при определении термина «утомление» можно апеллировать к субъективному чувству усталости, появляющемуся в конце рабочего дня, после бессонной ночи или в результате воздействия нагрузок высокой интенсивности. Также можно подойти к решению данной задачи через

указание сдвигов показателей физиологических функций, сопровождающих изменение функционального состояния. Наконец, определить утомление можно через указание специфических изменений работоспособности [47, 122, 128, 129]. Третий подход был нами раскрыт в начале данной главы, и именно это определение вслед за авторами работы [47] мы рассматриваем в качестве основного. Выбор именно этого направления обусловлен, с одной стороны, его прикладным значением для оценки и учета утомления в учебной и трудовой деятельности, с другой стороны, инструментальными возможностями, которыми располагает современная психология. Подверженность человека развитию явлений утомления, характеристика индивидуальных особенностей его работоспособности называется утомляемостью.

Развитие утомления обусловлено влиянием двух групп факторов. Во-первых, развитие тормозных процессов в ЦНС, во-вторых, нарушение обменных процессов и уменьшение энергетических ресурсов в работающих органах и тканях. Теоретическое обоснование этих представлений заключается в следующем. При любой деятельности на нервные центры ложится большая работа по переработке потоков возбуждений, связанных с формированием управляющих команд на основе следов предыдущих раздражений и сигналов, идущих в кору во время работы (обратная афферентация). Также от органов и тканей в ЦНС идут сигналы, отражающие химические сдвиги в их работе. Кроме этого, факторами утомления являются нарастающие при длительных и интенсивных нагрузках изменения во внутренней среде организма, в частности сдвиги физико-химических свойств крови, накопление продуктов обмена в крови, уменьшение количества сахара — гипогликемия. Эти сдвиги снижают работоспособность нервных центров как непосредственно в связи с изменением внутренней среды, к состоянию которой корковые клетки весьма чувствительны, так и опосредованно, путем раздражения различных рецепторов. В зависимости от конкретных условий на первый план в развитии утомления выступают различные факторы.

Состояние нервных центров определяется во время работы тремя основными факторами: расходом энергетических ресурсов, восстановлением их по ходу работы, процессами торможения. Происходящее при работе нервных клеток нарастание процесса расходования энергетических ресурсов сопровождается усилением процесса восстановления, идущего по ходу работы. Биохимические исследования показали, что процесс расщепления всегда вызывает усиле-

ние реакции, производящей синтез, поэтому в работающей ткани процесс восстановления идет быстрее, чем в покоящейся. Значит, неверно считать, что с самого начала работы функциональные ресурсы организма неуклонно снижаются. В начальной стадии деятельности приходящие потоки афферентных возбуждений тонизируют корковые центры, повышают их возбудимость. Материальной основой этих благоприятных сдвигов является активация восстановительного процесса. В этом состоит процесс вработывания, благодаря которому работоспособность повышается. Работоспособность — это поддержание заданного уровня деятельности в течение определенного времени. Во второй стадии расход ресурсов примерно равен восстановительным процессам. Это стадия устойчивой работоспособности. В тех случаях, когда работа является достаточно интенсивной или длительной, в ходе дальнейшей деятельности может отмечаться нарастание процессов расходования ресурсов, недостаточно компенсируемых восстановительным процессом. Если разрыв между ними становится значительным, начинается третья стадия — процесс охранительного торможения. Появление тормозного процесса в нервных центрах вызывает необходимость дополнительного волевого усилия. Эти изменения находят свое отражение в сознании в виде ощущения усталости и желания прекратить работу.

Повышение работоспособности нервных центров достижимо двумя путями: усилением восстановительного процесса по ходу работы и ослаблением охранительного торможения. Первый путь представляет истинную стимуляцию, так как увеличивает функциональный потенциал, второй — ложную, поскольку внешнее увеличение работоспособности достигается дорогой ценой, за счет глубокого снижения ресурсов организма. Существует ряд стимулов, отдаляющих утомление: меры эмоциональной стимуляции, влияние афферентных раздражений, методы активного отдыха, использование химических стимуляторов. Кроме того, в ряде исследований было показано, что использование вознаграждений удлиняет период работоспособности испытуемых и, напротив, в условиях отсутствия подкрепления состояние утомления нарастает интенсивнее [132, 133].

Выраженность изменений состояния организма зависит от глубины утомления. Изменения могут отсутствовать при незначительном утомлении и приобретать крайне выраженный характер при глубоких стадиях утомления организма. **Различают три стадии утомления.**

На *первой стадии* производительность труда практически не снижена, чувство усталости выражено незначительно.

На *второй стадии* производительность труда снижена существенно, чувство усталости выражено явно.

На *третьей стадии* производительность труда может быть снижена до нулевых показателей, а чувство усталости сильно выражено, сохраняется после отдыха и присутствует иногда еще до возобновления работы. Эту стадию иногда характеризуют как стадию хронического или патологического утомления, или **переутомления**. Оно обусловлено отсутствием необходимого отдыха между сменами и рабочими днями. Переутомление проявляется в снижении производительности труда, росте заболеваемости, снижении творческой активности и умственной работоспособности, изменении периодики продукции биологически активных веществ.

К. К. Платонов выделил **четыре степени переутомления** — начинающееся, легкое, выраженное и тяжелое, меры борьбы с которыми должны соответствовать выраженности психофизиологических проявлений (табл. 4.1). Так, *начинающееся* переутомление хорошо компенсируется при четкой регламентации времени труда и отдыха. *Легкая степень* эффективно снимается в период очередного отпуска при рациональном его использовании. *Выраженное* переутомление требует срочного лечения в санатории, а *тяжелая степень* переутомления требует лечения в условиях клиники [86].

Таблица 4.1

Схема степеней переутомления

Симптомы	Степень переутомления			
	I — начинающееся	II — легкое	III — выраженное	IV — тяжелое
Снижение дееспособности	Мало	Заметно	Выражено	Резко
Появление усталости при нагрузке	При усиленной нагрузке	При обычной нагрузке	При облегченной нагрузке	Без всякой нагрузки
Компенсация волевым усилием снижения дееспособности	Не требуется	Полностью	Не полностью	Незначительная
Эмоциональные сдвиги	Временами снижение интереса к работе	Временами неустойчивость настроения	Раздражительность	Угнетение, резкая раздражительность

Симптомы	Степень переутомления			
	I — начинающееся	II — легкое	III — выраженное	IV — тяжелое
Расстройства сна	Труднее засыпать или просыпаться	Многим труднее засыпать или просыпаться	Сонливость днем	Бессонница
Снижение умственной работоспособности	Нет	Труднее сосредоточиться	Временами забывчивость	Заметное ослабление внимания и памяти
Психогигиенические мероприятия	Упорядочение отдыха, физкультура, культурные развлечения	Очередной отпуск и отдых	Необходимо ускорение очередного отпуска и организованного отдыха	Лечение

Динамика утомления также может быть раскрыта через понятие работоспособности и ее изменение во времени.

Работоспособность — внутренние, субъективные факторы, влияющие на продуктивность труда (как возможность человека выполнять данную работу на заданном уровне временных и качественных показателей в течение определенного времени). Важно отметить, что продуктивность (эффективность) труда и работоспособность не являются тождественными понятиями, первое отражает поведенческие характеристики, а второе рассматривается как теоретическая модель внутренних функциональных возможностей субъекта труда.

Динамика работоспособности включает следующие фазы: *мобилизация*, т. е. подготовка к деятельности; *первичная реакция*, отражающая процесс количественного уравнивания; *гиперкомпенсация*, т. е. поиск оптимального решения; компенсация, когда работоспособность адекватна требованиям деятельности; *субкомпенсация*, *декомпенсация* и *срыв*, отражающие постепенное истощение резервов организма и снижение работоспособности. Утомление характерно для всех фаз, начиная с субкомпенсации, когда наступает значительное сокращение физиологических резервов и организм переходит на энергетически менее выгодные виды реакций, например поддержание минутного объема кровотока за счет увеличения частоты сокращений сердца вместо более выгодной реакции увеличения ударного объема; осуществление двигательной реакции большим числом



функциональных мышечных единиц при ослаблении силы сокращений отдельных мышечных волокон, т. е. нарушении чередования периодов работы и отдыха мышечных групп, участвующих в сокращении [20, 84, 86].

У человека в начальных стадиях утомления снижается эффективность деятельности, т. е. возрастает величина физиологических и психических затрат, необходимых для одного и того же трудового акта; затем падает и производительность труда. *Для утомления характерны увеличение числа ошибок и изменение их структуры:* в начальных фазах доминируют количественные ошибки, в последующих – появляются качественные. Развитие картины утомления можно в целом охарактеризовать как нарушение адекватности ответа организма требованиям, предъявляемым характером деятельности. При этом нарушаются все три основных требования адекватности: оптимальность частных реакций, лежащих в основе деятельности, и их согласование друг с другом; качественное и количественное соответствие ответа организма требованиям задачи; минимизация расхода физиологических резервов. При выраженном утомлении наблюдается полное прекращение работы.

Утомление у животных и человека имеет ряд общих механизмов, связанных с биохимическими изменениями на клеточном уровне и нарушением условно-рефлекторной деятельности. Однако как динамика, так и ряд структурных механизмов утомления, определяемые у человека регулирующей ролью мотивов деятельности, ее целями и социальным характером, позволяют обнаружить в утомлении животных и человека ряд принципиальных различий. В частности, у животных не наблюдается строгого развития фаз утомления, более характерно последовательное снижение количественных показателей, менее выражено изменение структуры деятельности, утомление практически не подавляется волевым усилием.

Таким образом, мы очертили общий круг интересующих нас аспектов проблемы утомления. Продолжим исследование данного понятия и обратимся к классификации утомления, а также к теориям утомления.

#### **4.1.3. Виды утомления**

Специфика проявлений утомления зависит от вида нагрузки, локализации и продолжительности ее воздействия, времени, необходимого для восстановления исходного уровня работоспособности. На этом основании выделяют различные виды утомления: общее и локальное;

мышечное, зрительное, слуховое, интеллектуальное (творческое). Общее утомление характеризует изменения функций организма в целом. Локальное утомление связано со снижением функции отдельной системы организма (например, ограниченной группы мышц).

По формам это состояние разделяют на компенсируемое, острое, хроническое утомление и переутомление. Современная классификация утомления (табл. 4.2) построена на основе учета трех групп показателей:

- 1) причины возникновения;
- 2) симптомы проявления;
- 3) способы и продолжительность восстановления работоспособности.

Таблица 4.2

Классификация утомления

Показатели	Утомление			Переутомление
	компенсируемое	острое	хроническое	
Причины возникновения (рабочая нагрузка)	Кратковременная, умеренной интенсивности	Кратковременная, интенсивная	Множественная (длительная), интенсивная	Множественная, длительная, чрезмерной интенсивности
Симптомы: 1) профессиональные (эффективность и качество работы)	Без нарушений	Без существенных нарушений	Существенные нарушения	Существенные нарушения, ошибки, отказы
2) функциональные - субъективные	Чувство усталости в конце дня	Чувство усталости после нагрузки	Постоянная усталость, общая слабость, нарушения сна, снижение интереса к работе	Постоянная усталость, апатия, слабость, нарушения сна, бессонница, потеря интереса к работе, снижение бдительности
- объективные	Незначительные вегетативные реакции	Нарушение функций анализаторов и вегетативных систем после нагрузки	Выраженные и стойкие нарушения функций анализаторов и вегетативных систем, ухудшение психических процессов и биохимических показателей	
Мероприятия по восстановлению	Кратковременный отдых		Продолжительный отдых	Лечение и реабилитация

В зависимости от вида выполняемой работы выделяют *физическое и умственное утомление*.

Физическое утомление возникает при двигательной активности. Оно бесконечно разнообразно. Данный вид утомления выражается в изменениях при трудовой, спортивной и других формах деятельности и захватывает как весь организм, так и его часть.

Утомление при локальной физической нагрузке наблюдается в работе отдельной мышцы или группы мышц. При нарастании утомления амплитуда, сила и быстрота мышечных сокращений уменьшаются. Нарушается взаимодействие мышц-антагонистов. Сокращается длительность работы. По мере развития утомления увеличиваются латентный период и длительность одиночного сокращения. Особенно удлинняется фаза расслабления, которая не заканчивается в течение многих секунд. При утомлении уменьшается коэффициент полезного действия мышцы. Утомление, возникающее при локальной физической нагрузке, связано с изменением функций нервных центров, нервно-мышечного синапса, а также непосредственно самой мышцы [59].

Изменение функции нервных центров связано со снижением их активности и лабильности, нарушением баланса возбuditельно-тормозных процессов. При этом известно, что двигательный центр менее утомляем, чем стимулирующий его сенсорные центральные системы. Может развиваться запредельное торможение, что имеет для нейронов охранительное значение. В результате нарушения реципрокной иннервации расстраивается координация во взаимодействии мышц-антагонистов.

Нарушение функции нервно-мышечного синапса связано со снижением чувствительности постсинаптической мембраны мышечного волокна к ацетилхолину. В результате уменьшаются лабильность и возбудимость скелетных мышц, резко уменьшаются сила и быстрота их сокращения. Углубление утомления приводит к тому, что в концевой синаптической пластинке биоэлектрические потенциалы снижаются ниже пороговых и возникновение потенциалов в мышечном волокне прекращается.

Утомление в самой мышце связано с нарушением процессов ресинтеза АТФ и креатинфосфата для мышечного сокращения: аденозинтрифосфат (сократ. АТФ) — нуклеозидтрифосфат, играющий исключительно важную роль в обмене энергии и веществ в организмах; в первую очередь соединение известно как универсальный источник энергии для всех биохимических процессов, протекающих в живых системах).

При локальной физической нагрузке развивается также и общее утомление. В развитии этого процесса участвуют в первую очередь высшие отделы центральной нервной системы.

Физическое утомление при общей нагрузке — это утомление, возникающее при работе многих групп мышц и активизацией функции вегетативных систем.

Ведущее значение в развитии общего утомления имеют расстройства в функции центральной нервной системы. Нарушается координация во взаимодействии различных двигательных нервных центров и их взаимодействия с центрами, обеспечивающими работу вегетативных органов и систем. Общее угнетение функции центральной нервной системы выражается в снижении возможностей к сознательной мобилизации и координации двигательных действий. В целом можно отметить нарушение механизмов управления движениями и функционального состояния мускулатуры и вегетативных систем.

При изменениях, появляющихся вследствие интенсивных процессов репродуктивной деятельности, связанной лишь с обработкой получаемой информации по жестким правилам (например, счет, разнесение по рубрикам), а также продуктивной деятельности, включающей процессы преобразования информации и формирования суждений, понятий, умозаключений и т. п., и эвристической деятельности, т. е. творческой, осуществляемой по индивидуальным, неявным алгоритмам, формируется *умственное утомление*.

Такое состояние снижает продуктивность умственного труда. Оно характеризуется трудностью сосредоточения и падением активности внимания, ослаблением памяти, замедленностью в принятии решений, нарушением четкости логических построений и способности к абстракциям и суждениям.

Комплексное изучение условных и безусловных рефлексов при умственном утомлении у человека позволило получить данные, показывающие, что при этом утомлении уменьшаются положительные условно-рефлекторные реакции, сила и подвижность возбуждения; растормаживаются дифференцировки.

Умственное утомление развивается в силу комплекса факторов. Так, механизм умственного утомления не ограничивается изменением работоспособности корковых клеток, выражающимся в нарушении силы ответных реакций в ответ на действие различных по интенсивности раздражителей. Одновременно возникают глубокие изменения корково-подкорковых взаимоотношений со значительным угнетением активирующей функции ретикулярной формации

головного мозга. Физиологическая природа указанных изменений заключается в развитии в коре больших полушарий и подкорковых образованиях естественного процесса запредельного торможения с охранительной функцией. Последнее проявляется в угнетении некоторых неспецифических вегетативных компонентов условно-рефлекторной деятельности (кожно-гальванического, сосудистого, дыхательного рефлексов).

Развитие запредельного торможения при умственном утомлении в корковых и подкорковых структурах центральной нервной системы нарушает не только корково-подкорковые взаимоотношения, но и взаимоотношения нервных центров в коре больших полушарий [59].

Физическое и умственное утомление существенно влияют друг на друга. При физическом утомлении умственная деятельность мало продуктивна, равно как при умственном утомлении снижается физическая работоспособность, поскольку в обоих случаях имеет место существенное эмоциональное напряжение, сопровождаемое сходными вегетативными сдвигами. Таким образом, различия между умственным и физическим утомлением имеют скорее относительный характер.

В связи с тем что обнаружилась принципиальная общность физического и умственного утомления, приобретает большое распространение классификация, основанная на преимущественной локализации утомления в звеньях нервной системы, обеспечивающей деятельность человека. Так, различают *сенсорное утомление* и его разновидности (перцептивное и информационное) и *эффекторное утомление*. Кроме того, выделяют общее утомление. Однако та или иная классификация зависит от принятой физиологической теории утомления [101].

*Сенсорное утомление* развивается в результате длительного или интенсивного воздействия раздражителя (например, сильный шум, свет), при котором первичные изменения возникают в сенсорных системах, начиная от рецептора и кончая корковым концом анализатора.

*Перцептивное утомление*, локализованное преимущественно в корковом конце анализатора, связано с трудностью обнаружения сигнала (например, при больших помехах, при его малой интенсивности, трудности дифференцирования).

*Информационное утомление* развивается вследствие недостаточности информации или при информационной перегрузке, когда наибольшая нагрузка падает на динамику межцентральных отношений,

закрывающуюся в замыкании временных связей между различными структурами в центральной нервной системе и оживлении ассоциативных связей, позволяющих правильно отразить в сознании объективную картину внешней среды.

*Эффекторное утомление* возникает при локализации изменений преимущественно в отделах центральной нервной системы, формирующих двигательный акт.

В связи с тем что при трудовой деятельности чаще сочетаются все перечисленные изменения, выделяют общее утомление, подчеркивая при этом наиболее выраженные нарушения в центральной нервной системе.

Для каждого вида утомления характерны две формы: первичная и вторичная. **Первичное утомление** развивается в начале работы и свидетельствует о недостаточном упрочении трудовых навыков. В процессе работы происходит преодоление первичного утомления, в результате чего работоспособность возрастает. **Вторичное утомление**, объективно отражающее снижение психофизиологических возможностей организма, развивается спустя 2,5–3 часа после начала работы. Для ликвидации вторичного утомления необходим отдых.

Теперь, когда нами подробно была рассмотрена классификация утомления, подчеркнем еще раз, что основу нашего интереса в рамках данной работы будет составлять умственное утомление, в той его форме, которая не вызывает стойкие изменения работоспособности субъекта и ухудшение состояния его здоровья (то есть преимущественно мы будем обращаться к испытуемым, находящимся в состоянии компенсируемого утомления, а не хронического утомления или переутомления).

#### 4.1.4. Теории утомления

До сих пор ведутся споры о природе явлений утомления. Существует несколько подходов к объяснению происхождения данного явления. В рамках первого подхода были сформулированы теории, в которых подчеркивается роль местных периферических явлений, развивающихся при утомлении в наиболее нагруженных органах и системах субъекта труда (примером могут служить идеи о роли молочной кислоты и других продуктов обмена в работающих мышцах). В рамках другого подхода разрабатываются теории, в которых утверждается ведущая роль при утомлении явлений торможения в ЦНС (например, теория И. М. Сеченова). В теориях еще одного подхода к рассмотрению утомления подчеркивается значение адап-

тационно-трофических воздействий вегетативной нервной системы и гуморальных влияний — гормонов, биохимических составляющих тканей и жидкостей при утомлении (теории Л. А. Орбели, К. Х. Кекчеева и др.).

Утомление сопряжено с определенными изменениями, возникающими как в эфферентном, так и в центральном звене функциональной системы трудовой деятельности. В историческом плане первыми были разработаны *теории утомления периферического звена*. Из многочисленных теорий утомления теории «отравления» немецкого ученого Э. Пфлюгера (1872), «истощения» М. Шиффа (1868, Швейцария), «обменная теория» английского исследователя А. Хилла (1929) и др. имеют только исторический интерес. Теория Шиффа связывала развитие утомления с недостаточностью энергетических запасов — гликогена, жирных кислот (теория истощения). Теория Ферворна связывала развитие утомления с недостатком кислорода (теория удушья). Пфлюгер объяснял утомление появлением в мышцах молочной кислоты или токсинов утомления (теория засорения).

Современные исследования дают основание считать, что все вышеизложенные причины утомления могут иметь место при напряженной физической работе. В результате в мышцах может наблюдаться процесс разобщения электромеханического сопряжения, когда возникающий потенциал действия не передается на цистерны саркоплазматического ретикулума через Т-систему, что препятствует выходу ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и началу взаимодействия актина и миозина.

Подтверждением важной роли нервной системы (коры больших полушарий мозга, а также вегетативной нервной системы) в явлениях утомления могут служить эксперименты, проведенные Д. И. Шатенштейном [цит. по 84]. В его исследованиях испытуемые вводились в состояние гипноза, и им предлагалась объективно легкая работа (перенос на небольшое расстояние пустой корзины) и относительно тяжелая физическая работа (удерживание и перенос груза массой около 10 кг на небольшое расстояние). Испытуемым последовательно внушалось, что пустая корзина является очень тяжелой, а тяжелый груз — очень легким. При выполнении задания производились измерения затрат энергии испытуемыми, фиксировались частота сердечных сокращений и частота дыхания, а также проводилось наблюдение за внешним видом испытуемых, их мимикой. В результате экспериментов было установлено, что физиологические реакции, сопровождающие выполнение заданий испытуемого, были адекватны внушенной задаче, а не задаче, реально выполняемой

испытуемым. Организм человека подстраивался на выполнение работы в связи с командами из ЦНС, а не от органов периферии тела, выполняющих определенную мышечную работу. Оказалось, что момент наступления утомления не зависим не только от того, какое количество работы фактически выполнено испытуемым, но, как показал циклографический анализ в данном исследовании, и от того, каково соотношение периодов фактической работы и периодов отдыха. При почти одинаковой продолжительности фазы фактической работы и в 5 раз меньшей продолжительности фазы отдыха в течение одного рабочего цикла общая продолжительность работы, связанная с моментом наступления утомления, может возрасти в 30–40 раз в соответствии с изменением деятельности и состояния ЦНС. При этом однажды наступившее утомление может быть снято воздействием на ЦНС, и работоспособность не только полностью восстановится, но и даже будет превышена по сравнению с максимальным уровнем ее в предшествующий утомлению период.

Шатенштейн [цит. по 84] предложил рассматривать явления утомления в контексте понимания места и роли ЦНС в деятельности различных частей организма. Эта роль понималась им не только как общая координация. ЦНС, по его мнению, меняет состояние органов и тканей, их функциональные свойства, их реактивность, установку на определенный уровень деятельности в соответствии с изменением своего состояния. Такое понимание близко физиологическому понятию лабильности Введенского-Ухтомского. Но Шатенштейн не отождествлял явление утомления только с уменьшением лабильности нервных центров, для него базовым оказалось представление об установке органов и тканей на определенный уровень деятельности, меняющийся под воздействием гуморальных влияний, и о воздействии нервных импульсов со стороны не только ЦНС, но и вегетативной нервной системы.

И. Н. Шпильрейном была разработана **биосоциальная концепция утомления**. Он предложил различать два типа усталости: *вызванную утомлением от осуществления трудовой деятельности*, и *психогенную*, обусловленную смещением психической доминанты с трудового процесса на внешние эмоциональные переживания. В динамике процесса утомления выделялись следующие фазы: местная усталость, общая усталость, переутомление [122].

На современном этапе развития науки признаны две группы теорий, на основании которых первичными считаются изменения в нервных центрах. Согласно одной из них, основой утомления явля-



ются гипоксические, т. е. связанные с недостаточностью кислородного снабжения, нарушения в нервных структурах, регулирующих процессы гомеостаза, в особенности изменения в сфере медиаторного обмена и химических процессов возникновения и передачи возбуждений. Сторонники второй группы теорий отрицают единый механизм возникновения утомления. По их мнению, появление утомления может быть обусловлено рядом факторов или их комбинаций, начиная с недостаточности кровообращения при локальном мышечном утомлении и кончая изменением структуры гомеостатической регуляции со стороны высших отделов центральной нервной системы (охранительное торможение) при общем утомлении.

В настоящее время разрабатывается целая группа физиологических теорий утомления. Так, в современных исследованиях вскрыт ряд тонких механизмов утомления, связанных с нарушением обмена макроэргических соединений, снижением активности окислительных ферментов, изменением характера эндокринной регуляции со стороны гипоталамуса. Например, зарегистрировано снижение функции надпочечников, показано, что угнетается выработка адренокортикотропного гормона гипофизом, вначале повышается, а затем снижается активность инсулярного аппарата поджелудочной железы. Это ведет к увеличению недоокисленных продуктов и гипергликемии. Как следствие этого, возникают вторичные изменения афферентной импульсации, что еще больше ухудшает состояние гомеостаза и ведет к нарушению согласованности вегетативных и двигательных рабочих реакций. Также были получены сведения о роли таких систем мозга, как: стволово-таламо-кортикальной, базальной холинергической системы переднего мозга, каудо-таламо-кортикальной системы в регуляции функциональных состояний. Данные системы вносят свой опосредующий вклад и в регуляцию цикла состояний от высокой работоспособности до сильнейшего утомления, поскольку они способны активизировать нейроны коры и тем самым поддерживать необходимый для работы уровень активности. Так, было обнаружено, что мезэнцефалическая ретикулярная формация активирует кору больших полушарий, позже была найдена подобная неспецифическая система и в таламусе. Затем было показано, что магноцеллюлярные нейроны, локализованные в базальном переднем мозге, также участвуют помимо всего прочего в реакции активации. К регуляции уровня активности организма имеют отношение и базальные ганглии (стриопаллидарная система). В результате влияния стриатума на таламус картина распределения

активации в нем соответствует мотивационному возбуждению и кортикофугальным сигналам, поступающим в стриатум. На уровне коры это трансформируется в распределение активации, которое отвечает требованиям поставленной задачи и реализации целенаправленного поведения [94].

Основные психологические теории утомления — это эмоциональные, конфликтные и дезинтеграционные теории. У данных теорий выделяется ряд ограничений и недостатков, но все же они внесли свой вклад в понимание психологических механизмов развития состояния утомления. Дезинтеграционная теория утомления указывает на нарушения регуляционных процессов, однако не раскрывает их источника, поскольку расстройства регуляции при утомлении, на которые справедливо указывают представители этой теории, являются лишь следствием, а не сущностью утомления. Дезинтеграция, вызванная утомлением, действительно вызывает нарушение восприятия, изменение некоторых свойств внимания и других психических функций, в связи с чем могут появляться неадекватные реакции. Однако все это результат или следствие утомления. Эта теория не указывает, почему, например, происходит рассогласование различных сенсомоторных и других структур. Она так же, как и эмоциональная теория утомления, указывает скорее механизм развития данного состояния, но не причину его возникновения. Конфликтная теория утомления относится к психоаналитическим и пытается раскрыть причины развития данного состояния. Однако в рамках данной теории делается акцент на биологические детерминанты поведения и оставляет за рамками исследования социальные детерминанты.

Таким образом, нами было введено рабочее определение понятия утомление, на основе которого будут проводиться дальнейшие исследования, был сделан краткий обзор, в рамках которого были обозначены основные классификации и теории утомления. Теперь можно приступить к поиску методов, адекватных для изучения утомления в выбранном нами понимании, то есть *как состояния, ведущего к специфическим изменениям работоспособности.*

## 4.2. Методология исследования утомления

### 4.2.1. Выбор методологического подхода к исследованию утомления

При проведении современных научных исследований до сих пор не утихает спор между представителями номотетического и идиографического подходов. Противоречия между идиографической и номотетической моделями науки стали предметом дискуссий в общественных науках и психологии лишь в начале XX в., хотя их истоки восходят к XVIII–XIX вв., т. е. ко времени возникновения наук о человеке. Дискуссия между сторонниками идиографического и номотетического подходов затрагивает фундаментальные допущения, касающиеся природы исследования, философии науки и целей общественных и психологических дисциплин. Сторонники одной точки зрения видят будущее науки за экспериментами, проводимыми на больших выборках испытуемых и поиском общих, характерных для большинства закономерностей. Сторонники другой точки зрения на этот вопрос смотрят принципиально иначе, предлагая делать упор на глубокий качественный анализ единичного явления.

Рассмотрим данные подходы к проведению научных исследований и формулированию интерпретаций полученных данных подробнее, отметим их сильные и слабые стороны, возможности и ограничения в их использовании. Затем сделаем свой выбор с учетом тех исследовательских задач, которые стоят перед нами.

**Номотетический подход** (от греч. «*nomos-teteo*» — издавать законы, устанавливать законы) — способ познания, целью которого является установление общего, имеющего форму закона. Понимание общего как закона явлений, предписываемого им «законодательствующим», «законополагающим» человеческим разумом, восходит к И. Канту. Однако в специфическом смысле, противопоставляемом идиографическому методу, понятие номотетический метод введено В. Виндельбантом в рамках неокантианства и последовательно развито Г. Риккертом [99,100].

Если «номотетическое мышление», по В. Виндельбанду, имеет целью отыскание общих законов, то «мышление идиографическое» ищет «отдельные исторические факты»; если первое исследует «неизменную форму реальных событий», то второе — их однократное, в себе самом определенное содержание». В то же время он, как и Г. Риккерт, подчеркивал, что здесь «речь идет о методологической противоположности», касающейся лишь приемов познания, но не

его содержания, и противоположность между неизменным и «единожды свершающимся» в известной степени относительна».

Констатируя эту противоположность, В. Виндельбанд утверждал, что до конца XIX в. она не была осознана методологически и что развитие логической теории свидетельствует о предпочтении номотетических форм мышления. Этот факт, по его мнению, объясняется следующим: поскольку научное изучение и рассуждение совершаются в форме понятий, ближайшим и самым важным интересом логики всегда останутся исследование сущности, анализ и применение категории общего. Кроме того, долгое время идеалом наук оставалась физика с ее точными методами, заставляя другие науки ориентироваться на него, не принимая во внимание специфичность их предмета.

Естествоиспытатель, озабоченный отысканием законов, стремится от констатации частного случая перейти к пониманию общей связи; для него отдельный объект наблюдения не имеет научной ценности — он имеет в его исследовании значение «типа», лишённого индивидуальных черт, которые интересны ему не как характеристики уникальной целостности этого объекта, а как выражение общей закономерности, объединяющей данный объект со множеством других. Знание этих законов дает возможность человеку предсказывать будущие состояния объектов и целесообразно воздействовать на ход вещей. Номотетическое знание, следовательно, дает возможность создавать орудия, с помощью которых человек обеспечивает себе возрастающую власть над природой. Противопоставляя дисциплинам, руководствующимся номотетическим методом, «идиографические науки», имеющие целью воссоздание объекта в его единичности и уникальности, Виндельбанд подчеркивал, что последние, со своей стороны, нуждаются в общих положениях, которые могут быть сформулированы корректно лишь в рамках «номотетических наук».

Идиографические науки, не пользующиеся номотетическим методом, хотя бы в качестве подчиненного, рискуют впасть в релятивизм (неокантианцы называли его «историзм»). И наоборот, номотетические науки, не учитывающие границ своего метода и предлагающие его как единственно возможный, неизбежно впадают в «методологический натурализм». Эта точка зрения, намеченная у В. Виндельбанда, была всесторонне развита в работах Г. Риккерта.

Г. Риккерт утверждал, что «методологический натурализм» возникает в силу того, что номотетический метод, или «генерализующий метод», празднующий блестящую победу «именно в естественных науках», рассматривается в качестве «универсального метода» [100].

Между тем, хотя вся действительность и может быть подчинена номотетическому методу, из этого нельзя делать вывод, что построение общих понятий «тождественно с научной работой вообще» [100]. Согласно Г. Риккерт, в науках, руководствующихся номотетическим методом, постепенно вытесняется первоначальный тип отделения существенного от несущественного, для которого была характерна целостная точка зрения, — существенное в «генерализующих науках» совпадает с общим как таковым.

Уничтожение всякой связи между объектами и ценностями, т. е. «свободное от ценностей» понимание действительности неокантианцы считают существенно важной стороной номотетического метода, определяющей его своеобразие. С этим и связана, в частности, та особенность номотетического метода, что для него объекты выступают лишь как примеры общих родовых понятий, причем каждый из них может быть заменен в этой его функции другой [100]. Отправляясь от такого понимания номотетического метода, Г. Риккерт считал, что для социологии, цель которой — установление общественных законов, этот метод является основным и решающим. Ту же точку зрения разделял и ученик Г. Риккерта М. Вебер, когда формулировал основные понятия своей «понимающей социологии», стремясь отличить ее от исторической науки [165].

Однако в качестве историка, широко пользовавшегося привычными для него способами анализа и в области социологии, М. Вебер указывал на необходимость сочетания номотетического метода с противоположным ему — идиографическим, индивидуализирующим. «Понимающий» аспект социологии М. Вебера также требовал достаточно широкого применения идиографического метода. Стремление наряду с номотетическим методом шире использовать и логически противоположный ему идиографический метод было характерно для послевеберовской немецкой социологии в 20-е гг. XX в. Но в целом в западной социологии, в особенности англо-американской (но также и французской), номотетический метод по-прежнему остается основным и ведущим.

**Идиографический подход** (от греч. *idios* — особенный, своеобразный, странный, необычный, неслыханный и *grapho* — пишу) — способ познания, целью которого является изображение объекта как единого уникального целого. Логико-теоретическое обоснование идиографический подход также получил в рамках баденской школы неокантианства [42].

В рамках неокантианской методологии идиографический метод — один из логических полюсов, второй представлен номотетическим,

или генерализующим, методом, причем в реальном исследовании предполагается сосуществование обоих методов при доминировании одного из них. Хотя, как мы упоминали ранее, оба эти метода применимы как в математическом естествознании, так и в исторических науках, при этом идиографический метод доминирует именно в исторических науках, под которыми понимаются науки о возникновении принципиально нового как в природе, так и в обществе.

Главную особенность идиографического метода неокантианцы баденской школы видят в постижении индивидуального в его однократности, уникальности и неповторимости. Речь идет об индивидуальности объекта, взятого именно в его целостности, а не в его частях, поскольку целое не совпадает с суммой его частей. Результаты исследования, осуществляемого с помощью идиографического метода, могут и должны резюмироваться в понятиях, имеющих индивидуальное, а не всеобщее содержание, какое дает применение генерализующего метода. В противоположность иррационалистам, баденцы подчеркивают рациональный характер процедуры исследования, осуществляемой с помощью идиографического метода: индивидуальное, уникальное, исторически однократное вполне постижимо логическими средствами (которые и объединяются под эгидой идиографического метода, так что здесь нет необходимости апеллировать ни к иррациональной интуиции, ни к «вчувствованию», ни к «вживанию» и т. д.).

Особо акцентируется необходимость в установлении причинных связей, сопрягающих в рамках уникального и неповторимого единства целого и его части. Утверждая, что апелляция к причинности не только не противоречит общетеоретическим предпосылкам идиографического метода, но выражает их существо. Подчеркивая рационально-логический характер осуществляемого в рамках идиографического метода исследования, Г. Риккерт дает понять, что этот метод в такой же мере отвечает требованию научности, как и метод генерализующий. Он утверждает, что цель его учения об идиографическом методе — обосновать научный статус исторических наук, а тем самым опровергнуть «мысль о противоположности науки и истории» [100].

Однако для того чтобы доказать научность исследований, руководствующихся идиографическим методом, недостаточно обосновать внутреннюю необходимость исследуемого объекта как данного «индивидуального целого», причинным образом связанного со своими частями. Для этого нужно также доказать и общезначимость выделяемого таким образом уникально-неповторимого единства. Это

доказательство осуществляется Г. Риккертом с помощью понятия отнесения к ценности. Индивидуальный объект, выделенный среди бесконечного множества других и превращенный таким образом в предмет осмысления, получает свою общезначимость, не теряя при этом своей уникальности и неповторимости лишь потому, что он выбран именно в свете определенных общезначимых ценностей как имеющий определенный смысл.

Важно также отметить, что концепция идиографического метода, имеющая чисто логическую природу, была объединена в ряде случаев с концепцией «понимания» В. Дильтея, разработанной в результате содержательного, предметного противопоставления «наук о духе», включающих «духовно структурируемую» реальность, естественным наукам, имеющим дело с «внешней» природой (противопоставление, логическую правомерность которого неокантианцы решительно отвергали). Таким образом, В. Виндельбанд различал науки и подходы скорее по методу, а В. Дильтей — по предмету. Отсюда возник целый ряд методологических недоразумений, характерных, например, для американской социологии, где результаты идиографического исследования рассматривались подчас как следствие низкого уровня абстракции. Реакцией на такую недооценку логических возможностей идиографического метода оказывалось, как правило, его истолкование в иррационалистическом духе, что означало утверждение его «ненаучности». Все это, однако, не мешало широко использовать этот метод в исторической социологии.

Относительно психологии здесь решается следующий вопрос: быть ли ей наукой, изучающей причинно-следственные связи и формулирующей общие законы человеческого поведения, или же интерпретационной, практической дисциплиной, стремящейся ко все более глубокому пониманию социальных и психологических процессов. Поэтому условно, в теоретическом аспекте можно говорить о номотетической и идиографической психологиях.

Номотетическая психология стремится к выявлению научных, статистически достоверных и допускающих обобщение законов человеческого поведения. Она ищет причинные объяснения социальных явлений. Она использует вариационно-аналитический язык, опирающийся на операционализацию переменных, и строгие причинно-следственные схемы вывода. Она стремится к количественной оценке психических и поведенческих процессов. Она исходит из того, что каузальные утверждения, сформулированные на основе тщательного изучения случайно отобранных испытуемых,

могут быть распространены на необследованные популяции. Сторонники номотетического подхода пытаются (в типичных случаях) создать искусственные условия, в которых и собираются научные данные. Номотетические теории являются дедуктивными, вероятностными, и предлагают функционалистские объяснения явлений. Психологи, стоящие на позициях идиографического подхода, изучают частности, а не универсалии. Поскольку признается, что каждый человек уникален, психолог должен пользоваться такой теорией и такими методами, которые сохраняют и выявляют индивидуальные различия. Кроме того, имеет место попытка предоставить каждому испытуемому возможность говорить на его собственном языке, сохранить смыслы, которые поддерживают жизнь конкретных людей в этом мире.

В психологии XX в. научная деятельность Гордона Олпорта чаще всего связывается с идиографическим подходом, базирующимся на определенных допущениях и методах. Подход Г. Олпорта требует глубокого и постоянного интереса к изучению и анализу единичного случая в течение длительного промежутка времени.

Подводя итог вышесказанному, можно выделить основные критерии *различия номотетического и идиографического подходов*:

- понимание объекта измерения;
  - направленность измерения;
  - характер методов измерения;
  - также отличными являются сильные и слабые стороны подходов.
- Данные различия могут быть представлены в виде табл. 4.3.

Таблица 4.3

Сравнительный анализ номотетического  
и идиографического подходов

Основание	Номотетический подход	Идеографический подход
Понимание объекта измерения	Понимание личности как набора свойств	Понимание личности как целостной системы
Направленность измерения	Выявление и измерение общих для всех людей свойств личности	Распознавание индивидуальных особенностей личности
Методы измерения	Стандартизованные методы измерения, требующие сопоставления с нормой	Проективные методики и идиографические техники
Сильные стороны	Возможность применять методы математической обработки данных	Возможность получить уникальное и полное описание человека



Основание	Номотетический подход	Идеографический подход
Слабые стороны	«Редукция» описания человека в виде набора цифр, когда люди с близкими значениями «не отличаются» друг от друга	Сложность в сравнении описаний даже двух людей, а также трудность в применении каких-либо методов автоматизированной обработки

Таким образом, оба подхода на современном этапе признаются равнозначными и научными, обладают своими положительными и отрицательными сторонами, поэтому выбор между ними правомерен и должен основываться только на учете особенностей самого предмета исследования.

Подходя к рассмотрению психологических аспектов проблемы утомления, нам кажется уместным вернуться к трактовке, предложенной в рамках неокантианства, а именно — не противопоставлять номотетический и идеографический подходы, а сочетать, используя их преимущества. В нашей работе эта идея будет реализовываться следующим образом: на первом этапе в рамках пилотажного исследования будет собран статистический материал о возможности использования предлагаемого нами метода для изучения утомления, где будут получены обобщенные по группе испытуемых результаты, тем самым будет реализовываться номотетическая модель; на втором этапе исследования основной акцент будет перемещен на учет индивидуальных особенностей утомления, которые нивелировались при усреднении результатов по большой группе испытуемых, то есть исследование будет опираться в какой-то степени и на идеографическую модель.

Хотя и во второй части мы будем проводить статистический анализ полученных данных, но, в отличие от первой части работы, это будет «индивидуальная» статистика, получаемая в результате проведения большого количества проб на отдельных испытуемых. Таким образом, результаты каждого испытуемого во второй части работы будут сопоставляться только с его собственными результатами, полученными в ходе выполнения этим же испытуемым экспериментальных проб, но в другом функциональном состоянии. Важно подчеркнуть, что методы во второй части исследования будут использоваться те же, что и в первой, а изменится только подход к проведению исследования и к интерпретации полученных данных. Так, в рамках пилотажного исследования результаты испытуемых усредняются по группе, и уже эти обобщенные показатели, полученные в разное время, сравниваются.

Однако исследование В. П. Зинченко и его коллег указало на не состоятельность усреднения показателей утомления. Они обнаружили, что оценка утомляемости затруднена в случае существования значительных индивидуальных различий и усреднения данных по большой группе испытуемых, а также отмечали, что на начальной стадии исследования нежелательными факторами являются возрастные особенности испытуемых, их недостаточная обученность. Поэтому в своем исследовании мы опираемся на номотетическую модель, взятую в чистом виде, только в рамках пилотажного исследования для доказательства общей возможности использования предлагаемых нами методов для исследования интересующей проблемы, оценки доступности заданий, заложенных в экспериментальных методах, для данной категории испытуемых, а также для сопоставления чувствительности различных методик к действию утомления.

На втором же этапе эксперимента подход будет изменяться: результаты каждого испытуемого будут сравниваться не между собой, а, как мы отмечали выше, с его же результатами, но полученными в другой период времени. Такой подход должен позволить нам оценить степень чувствительности предлагаемых методик к изменениям функционального состояния испытуемых и учесть при этом индивидуальные особенности динамики развития состояния утомления.

#### **4.2.2. Методы исследования утомления**

Для оценки функциональных состояний применяют диагностические методы разного вида. Данные методы можно разделить на две большие группы: физиологические и психологические методы. При этом в рамках психологических методов можно условно выделить две подгруппы: методы субъективной оценки, шкалирования и поведенческие методы (они предполагают оценку успешности выполнения деятельности). Рассмотрим последовательно отмеченные группы методов, выделим их сильные и слабые стороны, а также оценим возможность использования этих методов для решения задач, стоящих перед нами в рамках данного исследования.

#### **4.2.3. Физиологические методы изучения состояния утомления**

Физиологические методы позволяют получать показатели утомления с помощью регистрации сдвигов физиологических параметров, произошедших при изменении функционального состояния субъекта. В рамках данной группы методов производится оценка состояния

физиологических функций. Поэтому проводятся следующие виды регистрации физиологических параметров: ЭЭГ, ЭКГ, КГР, ВП, ПЭТ, электроокулография, определение скорости реакции, плетизмограмма, реограмма, измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений и многие другие, а также исследуются биохимические сдвиги, возникающие при различных функциональных состояниях [23, 48, 52, 76].

Как мы видим, в качестве индикаторов утомления используются самые разные физиологические переменные. В частности, для исследования локального мышечного утомления могут использоваться такие показатели, как: степень дисфункции, возникающей на клеточном уровне, биомеханические и ионные сдвиги, изменения в электромиограмме, а также артериальное давление и сердечный ритм. Изменения в сердечном ритме и в расходе кислорода являются показателями энергетического истощения организма и могут рассматриваться шире — как показатели общего физического утомления.

К числу часто применяемых в отношении проблемы утомления методов относятся: электроэнцефалография (ЭЭГ) и метод вызванных потенциалов. Однако границы их применимости в целях исследования утомления до сих пор обсуждаются. При этом считается возможным использовать три типа ЭЭГ. Десинхронизированный, переходный и синхронизированный с внешним раздражением типы ЭЭГ могут служить критерием функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) оператора. Внимание как нервно-психический процесс тоже должно найти отражение через функциональное состояние ЦНС в ее электрической активности. Обстоятельный обзор особенностей вызванных потенциалов у человека в состоянии внимания дан в работах [68, 119].

Что касается суммарной поверхностно отводимой электроэнцефалограммы, то наряду с исследованиями ЭЭГ, имеющей тенденцию к депрессии в ответ на различные стимулы, большое внимание уделяется изучению ритмов, компонент ЭЭГ, которые являются физиологическими характеристиками функционального состояния мозга. Среди ритмов особое место занимает альфа-ритм, характерный для ЭЭГ взрослого здорового человека в состоянии бодрствования при закрытых и открытых глазах [57].

Принято считать, что альфа-ритм — это ритм покоя, который при возбуждении мозга десинхронизируется, а при торможении происходит явление синхронизации. Вряд ли можно столь определенно сказать о характере альфа-ритма человека при умственной нагрузке, при

сосредоточении внимания. Все же большинство исследователей отмечают склонность к депрессии (десинхронизации) альфа-ритма по мере сосредоточения внимания [141, 150].

Если вероятность появления ожидаемого пускового сигнала велика, число спонтанных депрессий альфа-ритма уменьшается [123]. На ухудшение внимания с появлением веретен альфа-ритма на фоне десинхронизированной ЭЭГ указывается в работах [128, 141, 146]. Против прямой связи внимания и депрессии альфа-ритма возражает Манди-Кастл [152]. Наблюдалась экзальтация альфа-ритма на звуковую, тактильную стимуляцию, а также при ожидании сигнала и умственном напряжении [138, 141, 161].

Противоречия сторонников депрессии и экзальтации альфа-ритма при сосредоточении внимания пытаются разрешить Трэвис и Оганиян [162], заявляя, что депрессия альфа-ритма связана с направленным, а экзальтация — с генерализованным мышлением. Кроме ЭЭГ используются и другие показатели жизнедеятельности организма. Так, электромиограмма (ЭМГ), электрокардиограмма (ЭКГ), пневмограмма (ПГ) учитываются при оценке состояния оператора по пороговым значениям, определяемым с помощью вычислительного алгоритма, основанного на использовании статистических методов [36].

Но на современном этапе развития науки принято сочетать эти методы друг с другом или с другими методами для получения более надежных результатов. Например, в исследованиях нидерландских авторов была показана эффективность применения следующего сочетания методов: электроэнцефалография и электроокулография, а также измерения концентрации мелатонина. В этом же исследовании ЭЭГ придается значительная роль и отмечается, что она может успешно использоваться для изучения умственного утомления в экспериментальных условиях, моделирующих умственную работу [133].

Метод вызванных потенциалов также часто применяется в самых разных исследованиях, посвященных проблеме как физического, так и умственного утомления. [133].

Однако мы уже отмечали необходимость объединения данных методов. Так, было доказано, что отдельные параметры, полученные с помощью электроэнцефалографии или метода вызванных потенциалов не могут рассматриваться как показатели утомления. Нужно исследовать изменения, возникающие в процессе переработки информации под воздействием нагрузок одновременно с изменениями, возникающими в работе мозга, поэтому только интеграция в использовании данных методов может увеличивать эффективность их

применения для изучения состояния утомления. Кроме того, для повышения точности данных методов, измерения необходимо их применять в условиях, близких к реальной деятельности субъекта, в рамках которой он испытывает утомление [154].

Тем не менее, даже в случае использования совокупности физиологических методов, могут появляться сложности в определении по ним функционального состояния субъекта. Например, В. П. Зинченко и его коллеги в своей книге со ссылкой на работу А. А. Генкина и В. И. Медведева отмечают следующие причины возможных искажений в интерпретации физиологических показателей: вариабельность реакции у одного и того же лица, близость реакций у разных лиц, сходство реакций при существенно различных состояниях [30, 47].

По данным Манди-Кастла, индексом эмоционального возбуждения человека является тета-ритм [153]. Он отмечает, что ритмы ЭЭГ обусловлены отрицательными эмоциями; у лиц, настроенных агрессивно, тета-ритм становится доминирующим во всех областях головного мозга. Коуэн и Силверман считают, что работоспособность человека зависит от уровня возбуждения ЦНС. В результате изучения кожно-гальванической реакции (КГР) (по Ферре) в ответ на электрическое раздражения кожи в области лодыжки авторы установили, что с увеличением уровня возбуждения ЦНС амплитуда КГР меняется по закону гиперболы. При нарастании возбуждения ЦНС (от сна до состояния бодрствования) амплитуда КГР увеличивается; во время перевозбуждения ЦНС амплитуда начинает уменьшаться и КГР исчезает [137, 159].

По данным некоторых исследователей, какой-либо закономерной связи между изменениями ЭЭГ и КГР при различных видах интеллектуальной деятельности обнаружить не удастся; в некоторых случаях между этими показателями проявляются парадоксальные отношения: может наблюдаться выраженная КГР при слабой десинхронизации альфа-ритма и, наоборот, незначительные изменения КГР могут сопровождаться резким угнетением альфа-ритма [140, 150].

В настоящее время широко применяется метод функциональной магнитно-резонансной томографии для решения самых разных исследовательских задач, в том числе и при изучении утомления. В частности, с помощью данного метода было показано, что у пациентов с синдромом хронической усталости появляются изменения в работе мозга, в первую очередь во фронтальных зонах коры. Была также доказана связь между данными изменениями в коре и сообщениями

самих пациентов об ухудшении своего физического состояния. Но с помощью данного метода трудно дифференцировать такие состояния, как депрессия и хроническая усталость [147].

Физиологическими показателями нагрузки могут быть также пупилограмма и КГР, которые, как отмечают В. П. Зинченко и его коллеги, позволяют осуществить посекундный анализ усилий, затрачиваемых на выполнение задания [47].

Некоторые зарубежные и отечественные авторы считают, что по мышечному напряжению можно судить о состоянии оператора. Вудворте и Шлосберг [169] выдвинули предположение, что такими могут быть шейные мышцы, поскольку они посылают большую часть обратных проприоцептивных импульсов в ЦНС. Джекобс в своей работе по электромиографии отмечал, что «уровень мышечного напряжения выше, когда индивид о чем-то думает, чем когда он ни о чем не думает». Дэвис обнаружил, что «уровень напряжения отдельных мышц выше, когда индивид решает умственную задачу, чем когда он этого не делает». Он нашел также, что, чем сложнее задача, тем выше уровень напряжения.

В одном из исследований была доказана возможность применения метода лицевой электромиографии для оценки утомления. Электромиография регистрировалась до и после рабочего дня. Активность, выявляемая на электромиограмме снижалась в течение рабочего дня и повышалась после окончания работы. Уровень данной активности повышался также в тестовые периоды, когда испытуемые мобилизовали свои силы, чтобы на должном уровне выполнить стоящее перед ними задание. У испытуемых, получавших высокие баллы по результатам выполнения тестовых заданий, в конце работы над ними регистрировались более низкие показатели активности на электромиограмме. Кроме того, именно эти испытуемые указывали на необходимость восстановления своих сил. Авторы подчеркивают, что данный метод позволяет дифференцировать испытуемых с разным уровнем устойчивости к утомлению (то есть с разной утомляемостью). Они также указывают на возможность использования данного метода для оценки изменений функционального состояния людей в разные периоды рабочего дня [47].

Для исследования проблемы утомления также используют ряд психофизиологических методов. Например, показана возможность применения таких методов, как: измерение скорости реакции, изучение изменения координации в системе «глаз-рука» под воздействием нагрузок разной интенсивности, а также измерения в рам-

ках смешанных проб (где одновременно фиксируются изменения и координации, и скорости реакции) [124, 125, 168 ].

В исследованиях В. А. Машина, для определения функционального состояния была предложена трехфакторная модель ВСР.

Первый фактор данной модели отражает общий тонус вегетативной нервной системы (ВНС), суммарную активность как надсегментарных, так и сегментарных структур головного мозга, участвующих в регуляции сердечного ритма (оценивается показателем SDNN – стандартным отклонением R-R интервалов между комплексами QRS нормальных синусовых кардиоциклов N-N, без артефактов и экстрасистол).

Второй фактор модели характеризует баланс между активностью надсегментарных и сегментарных структур головного мозга в регуляции сердечного ритма (оценивается показателем b1 – тангенсом угла наклона линии регрессии графа ритма сердца: независимая переменная – исходный массив нормальных интервалов R-R<sub>n</sub>, зависимая переменная – массив R-R<sub>n+1</sub>): повышение значений b1 за счет роста периода сердечных колебаний и снижения нелинейной динамики ВСР указывает на рост активности надсегментарных структур.

Третий фактор модели тесно связан с балансом между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС в регулировании сердечного ритма (оценивается показателем MNN – средним значением нормальных R-R интервалов). В исследовании было выделено 8 функциональных классов.

Два из этих классов «психическое напряжение с преобладанием активности вагуса» (ФК6) и «психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур» (ФК8), по мнению автора, могут рассматриваться как индикаторы процессов психического утомления.

Функциональный класс ФК6 отмечается при психическом утомлении, а также, согласно клиническим наблюдениям автора, может служить индикатором патологических процессов (снижение функциональных резервов организма, вызванное атеросклерозом, раком и другими тяжелыми заболеваниями). Функциональный класс ФК8 характерен для хронического психического утомления, глубокого снижения функциональных резервов.

Данный метод, как отмечает В. А. Машин [76], позволяет также провести дифференциальную диагностику состояний утомления и монотонии, которые часто смешиваются при проведении экспериментов. В рамках данного исследования состояние монотонии

характеризуются функциональным классом «Норма» (ФК1 – снижение активности, бдительности, сонливость), а состояние психического утомления отмеченными выше функциональными классами «Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса» и «Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур» (ФК6 и ФК8). Пациентов с синдромом хронической усталости автор работы отнес также к функциональным классам ФК6 и ФК8.

Помимо всех перечисленных выше методов, для исследования утомления могут использоваться параметры, отражающие биохимические изменения, возникающие в организме под воздействием нагрузки. Роль таких параметров была показана рядом исследователей. В частности, известно, что в состоянии утомления наблюдается угнетение метаболизма глюкозы во фронтальных зонах коры, а также в базальных ганглиях.

Также доказано, что на клеточном уровне состояние утомления во многом обусловлено нарушением нейротрансмиссии глутамата.

Таким образом, современная наука предлагает широкий арсенал физиологических и психофизиологических методов, многие из которых могут быть применены для оценки утомления. Данные методы, как отмечают В. П. Зинченко и его коллеги, характеризуются такими преимуществами, как: объективность и возможность количественного выражения данных. Динамика физиологических показателей может отражать не только общие сдвиги активности организма, но и изменения нагрузки отдельных функциональных систем [47]. Также данная группа методов обеспечивает возможность соотнесения психологических явлений с их органической основой.

Однако у данных методов можно отметить и ряд недостатков. Так, существует много дополнительных факторов, которые аналогичным образом влияют на те физиологические показатели, которые измеряются в экспериментах, посвященных проблеме утомления. То есть главная проблема, возникающая перед исследователем при использовании физиологических методов, – проблема неспецифичности физиологических показателей.

Выход из этого положения – использование комплекса методов. Кроме того, большинство подобных методов диагностики требуют значительных временных затрат, сложного инструментария и детальных знаний в области физиологии и психофизиологии. Ограничение свободы передвижений и другие источники неудобства зачастую приводят к совершенно нехарактерному поведению испытуемых, что требует учета при интерпретации полученных результатов. Исполь-



зование знаний физиологических параметров для изучения рассматриваемого вида деятельности связано с серьезными трудностями.

Для физиологических исследований характерна суммарная оценка деятельности. Констатация физиологических сдвигов, определяющих уровень процессов в нервной деятельности, не раскрывает, в результате каких именно действий произошли эти сдвиги. «Применяемые обычно методики дают возможность отметить лишь те или иные проявления общих закономерностей центральной нервной системы. Что же касается специфических особенностей умственного труда, то существующие методики явно для этого недостаточны» [20].

В экстремальных условиях многими исследователями отмечают неблагоприятные изменения в психофизиологических функциях, что обычно связывают с понижением работоспособности, с падением надежности в работе. Однако В. Л. Маришук [75] показал, что снижение устойчивости психофизиологических функций далеко не всегда адекватно снижению работоспособности. Ему пришлось для более точного определения состояния обследуемых лиц кроме физиологических и биохимических изменений исследовать и основные психические параметры: кратковременную память, устойчивость, распределение и переключение внимания, умственную работоспособность, координацию движений и сенсомоторную реакцию.

А. И. Киколов [54] указывал, что при анализе данных об утомлении нужно ориентироваться прежде всего на высшие отделы ЦНС. В силу этого при исследовании умственно-эмоционального напряжения операторов не проводились хронометражные наблюдения, исследовались функциональная подвижность (лабильность) и электровозбудимость зрительного анализатора, скорость образования и особенности положительных и отрицательных двигательных рефлексов.

Если, кроме того, учесть трудность составления алгоритма обработки получаемых физиологических данных и соотнесения их с рассматриваемой деятельностью оператора, то можно утверждать, что применение этого метода весьма затруднительно для оценки оперативного мышления оператора. Известные в настоящее время показатели деятельности физиологических систем не позволяют характеризовать способность оператора к структурированию, динамическому узнаванию и формированию алгоритма решения — основным компонентам рассматриваемого вида деятельности.

Из всех рассмотренных методов определения состояния оператора при дежурстве за пультом управления наиболее приемлемым представляется метод диагностики по результатам работы на аналоге.

#### 4.2.4. Психологические методы изучения состояния утомления

Среди психологических методов, позволяющих исследовать утомление, можно выделить две подгруппы: методы изучения субъективной оценки собственного состояния (субъективного чувства усталости); методы оценки изменений показателей трудовой деятельности, то есть изменение работоспособности (функциональные или поведенческие методы).

Метод контроля состояния по психологическим параметрам предусматривает проведение комплекса лабораторных проб для определения основных характеристик состояния психических функций оператора. На основе этих характеристик можно составить мнение о состоянии навыка оператора и о возможности выполнения им тех или иных задач. Группа параметров, отражающих контролируемое состояние, должна быть приспособлена к тому, чтобы оптимальным образом в отношении надежности и простоты отражать «внутренние гарантии» успешного выполнения задания [65].

При данном методе контроля необходимо найти средства, позволяющие измерять психические явления. Обычно при этом пользуются так называемыми индикантами — доступными наблюдению и регистрации проявлениями, которые связаны с психическими явлениями согласно некоторым законам.

Информация о состоянии человека может быть представлена в виде набора значений параметров (индикант), определяющих психическую характеристику индивидуума. При геометрической интерпретации эту характеристику можно понимать как координаты многомерного вектора в пространстве, координатные оси которого соответствуют индикантам. Если для контроля за  $a$ -й психической функцией оператора выбрано  $D$  индикант, то описание  $a$ -й функции при  $i$ -м состоянии можно представить в виде матрицы

$$Q^i = \begin{pmatrix} x_{11}^i & x_{12}^i & & x_{1a}^i & x_{1A}^i \\ x_{21}^i & x_{22}^i & & x_{2a}^i & x_{2A}^i \\ \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots \\ x_{d1}^i & x_{d2}^i & & x_{da}^i & x_{dA}^i \\ \dots & \dots & & \dots & \dots \\ x_{D1}^i & x_{D2}^i & & x_{Da}^i & x_{DA}^i \end{pmatrix}$$

где  $i, a, d$  — текущие номера соответственно состояния, психической функции, индиканта;  $D$  — число индикантов, характеризующих  $a$ -ю функцию;  $x_{da}^i$  — значение  $d$ -го индиканта  $a$ -й функции человека-оператора при  $i$ -м состоянии;  $A$  — число контролируемых психических функций,  $Q^i$  —  $i$ -е состояние человека.

Психические функции, характеризующие навыки, и их весовые коэффициенты могут быть выявлены при детальном структурном анализе деятельности оператора и в модельных экспериментах.

В настоящее время психологические пробы применяются главным образом в случае определения профессиональной пригодности кандидатов на ту или иную работу. Основные недостатки метода контроля с помощью психологических функций заключаются в необходимости наличия на рабочем месте некоторого числа (в зависимости от величины ансамбля контролируемых функций) дополнительных контролирующих устройств. Возникает вопрос об их размещении и удобстве работы. Для проведения лабораторных проб приходится отрывать оператора от его основной деятельности, что в ряде случаев бывает сопряжено с опасностью пропуска важных сигналов о состоянии управляемой системы.

*Оценить субъективное чувство усталости можно с помощью методов самоотчета, например тестов Ч. Спилберга, В. Г. Кукеса, САН.* В настоящее время последний из перечисленных тестов довольно часто применяется для фиксации субъективного чувства усталости. В данном тесте испытуемому предлагаются 30 пар противоположных характеристик, по которым его просят оценить свое состояние, каждая пара представляет собой шкалу, на которой испытуемый отмечает степень актуализации той или иной характеристики своего состояния. Тем самым удается выяснить такие характеристики актуального состояния испытуемого, как самочувствие, активность, настроение.

Также может проводиться прямое шкалирование субъективных оценок с помощью специальных опросников, например опросника Гролля и Хайдера, в котором представлено десять семибалльных шкал, построенных по принципу противопоставления предикатов: сильный — слабый, веселый — грустный, бодрый — сонный, взволнованный — спокойный, счастливый — несчастный, энергичный — ленивый, свежий — усталый, расслабленный — напряженный, полный сил — истощенный, заинтересованный — скучный. Задачей испытуемого является оценка степени выраженности определенных ощущений. Перспективность применения в диагностических целях субъективных оценок функционального состояния отмечалась еще

А. А. Ухтомским, который считал их столь же объективными, как и другие методы, и даже более точными, чем лабораторные методы [112].

В настоящее время разнообразные опросники для исследования утомления получили очень широкое распространение. Подобные опросники применяются как в отношении утомления, не связанного с какими-либо заболеваниями, так и в клинике [168]. Так, в одном из исследований было показано, что за период с 1975 до 2004 года было выпущено около 2285 работ, посвященных исследованию утомления при различных заболеваниях. При этом в них использовались как многомерные шкалы, так и частные шкалы, специально разрабатываемые для проводимого исследования. Большая часть исследований (примерно 80 %), согласно сведениям данных авторов, были проведены в последнее десятилетие.

В основном используются стандартные многомерные шкалы, но некоторые авторы применяют частные шкалы для исследования утомления, возникающего при отдельных заболеваниях или для других частных исследований утомления. Число исследований растет, и сейчас разрабатывается все больше частных опросников. Они используются для изучения утомления, появляющегося как симптом отдельных болезней, но могут быть адаптированы и к другим заболеваниям, поскольку утомление является неспецифическим симптомом. Утомление как симптом проявляется при ряде заболеваний: рассеянный склероз, заболевания сердечно-сосудистой системы, заболевания печени, почечная недостаточность, анемия, заболевания почек, тиреотоксикоз, системная красная волчанка и других заболеваниях. Также утомление может включаться в симптомокомплекс депрессии.

В многомерные опросники включается целый ряд аспектов: когнитивные, функциональные, эмоциональные, физические — во всех этих сферах утомление может проявляться. Кроме того, утомление влияет на качество жизни, поэтому вопросы, направленные на оценку утомления, могут включаться в тесты, направленные на изучение качества жизни испытуемого [132]. Например, опросник WHOQOL-BREF направлен на выявление у испытуемого качества его жизни в целом и степень его удовлетворенности своим здоровьем. Кроме того, опросник содержит 24 дополнительных пункта из четырех категорий: физические аспекты, психологические аспекты, социальные взаимоотношения и аспекты окружающей его среды. Испытуемые оценивают свою жизнь и в первую очередь те аспекты, которые отражают их самочувствие. В тесте представлены вопросы, которые

отличаются своей оценкой: условно «отрицательные» вопросы, отражающие низкое качество жизни, условно «положительные» вопросы, которые отражают высокое качество жизни, и нейтральные вопросы, не относящиеся ни к той, ни к другой группе. Полученные баллы затем складываются и переводятся в шкальные оценки. Высокие баллы указывают на высокое качество жизни испытуемого [151].

В медицинской практике на сегодняшний день самыми популярными из опросников данной категории являются те, которые позволяют оценить степень утомления у пациентов с онкологическими заболеваниями [170]. Сейчас наиболее часто используемым за рубежом опросником этого вида считается многомерный опросник утомления. Он включает пять шкал: «общее утомление», «физическое утомление», «умственное утомление», «снижение мотивации», «снижение активности». Другим популярным инструментом для использования в клинике является шкала самоотчета Пипера, разработанная преимущественно для пациентов, проходящих рентгенотерапию. Данный инструмент разрабатывался для пациентов и состоит из вопросов или утверждений, отражающих симптомы заболевания [125, 130].

Впоследствии шкала Пипера была модифицирована в шкалу многофакторной оценки утомления, которая фиксирует временные и деятельностиные параметры, степень недомогания, влияние утомления на мышление [132, 133].

С помощью методов самоотчета может оцениваться и утомление, возникающее в процессе трудовой деятельности. Так, опросные методы могут использоваться для оценки степени утомления и напряжения, а также динамики изменения этих состояний в течение рабочего дня, и для определения желаемого испытуемым объема работы. В настоящее время при конструировании шкал исходят из нескольких категорий субъективных признаков утомления. Так, популярный в психологических исследованиях тест САН (назван по первым буквам слов «самочувствие», «активность», «настроение») строится на основе трех категорий признаков, и степень выраженности каждого признака устанавливается по семибалльной шкале.

Тест САН представляет собой карту, на которую нанесены 30 пар слов полярного значения. Каждую из трех категорий характеризует 10 пар слов. К категории «самочувствие» относятся характеристики силы, здоровья, степени утомляемости, например: самочувствие плохое / хорошее, чувствую себя сильным / слабым, полный сил / обескураженный и т. д. К категории «активность» относятся характеристики подвижности, скорости протекания различных функций: пассивный

/ активный, малоподвижный / подвижный, медлительный / быстрый и т. д. В категорию «настроение» включены характеристики эмоционального состояния: веселый / грустный, настроение плохое / хорошее, жизнерадостный / мрачный и т. д.

Десятикратное предъявление полярных признаков — членов одной и той же группы — повышает надежность получаемых данных. Расположение положительных (отрицательных) признаков как с правой, так и с левой стороны карты уменьшает возможность преднамеренного искажения результатов. По данным авторов этого метода, его использование дает возможность охарактеризовать функциональное состояние и не только по абсолютным оценкам самочувствия, активности и настроения, которые снижаются по мере развития утомления, но и по показателям их соотношения. У отдохнувшего человека все три категории признаков оцениваются близкими цифрами. По мере нарастания утомления растет их дивергенция за счет снижения показателей самочувствия и активности по сравнению с субъективной оценкой настроения.

Развитие методов субъективных оценок функционального состояния идет по линии создания сложных и многоплановых тестов, основанных на использовании современного математического аппарата и ассимиляции данных, накопленных в области традиционного использования метода шкалирования в субъективной психофизике.

Современная психологическая наука имеет в своем арсенале несколько опросников с целью выявления наиболее информативных симптомов и групп симптомов утомления. Одним из них является опросник физической активности, разработанный Японской ассоциацией здоровья, где с помощью факторного анализа на основании результатов предварительного оценочного исследования были выделены две группы наиболее информативных симптомов, объединенных под названием «слабая активация» и «слабая мотивация».

Для современных исследований в области создания субъективных опросников характерны тщательная разработка симптоматики утомления, классификация признаков и выделение определяющих факторов, разработка способов контроля за выполнением теста. Борг разработал несколько шкал такого типа, показатели по которым коррелировали с физиологическими изменениями, характерными для состояния утомления и с объемом физической нагрузки. Это шкала RPE (шкала оценки напряжения) и шкала CR10. Показатели шкалы RPE находятся в линейной связи с сердечным ритмом и с объемом расхода кислорода. Шкала CR10 отражает субъективное восприятие испытуемыми интенсивности выполняемой ими работы [125].

Также известна такая методика изучения утомления, возникающего в процессе трудовой деятельности, как Шведский опросник профессионального утомления (Swedish Occupational Fatigue Inventory). В данном опроснике были выделены пять основных факторов: «недостаток энергии», «физическое напряжение», «физический дискомфорт», «недостаток мотивации», «сонливость». При этом в своем исследовании автор показывает, что для разных видов работ характерны изменения показателей по разным параметрам: для физической работы это в основном параметры физического напряжения и физического дискомфорта, а для умственной работы — параметры недостатка энергии, недостатка мотивации и сонливости [126, 144, 164].

Однако утомление может дифференцироваться не только по степени его выраженности, но и по качеству. Многомерные методы позволяют оценивать и степень утомления (количественный критерий), и качество утомления, в отличие от одномерных методов.

В зарубежной литературе также часто упоминаются такие многомерные опросники утомления, как: Шкала утомления Ли (Lee Fatigue Scale — Lee et. al., 1991); Опросник оценки утомления (Fatigue Assessment Questionnaire — Glaus, 1996); Функциональная оценка лечения онкологических заболеваний, анемии или утомления (Functional Assessment of Cancer Therapy-Anemia/Fatigue — Yellen et al., 1997); Краткий опросник утомления (Brief Fatigue Inventory — Mendoza et al., 1999); Шкала утомления для пациентов с онкологическими заболеваниями (Cancer Fatigue Scale — Okuyama et al., 2000); Шкала утомления для пациентов с онкологическими заболеваниями Шварцца (Schwartz Cancer Fatigue Scale, 1998) и другие.

Тем не менее, как отмечают В. П. Зинченко и его коллеги в своей работе, чувство усталости может быть следствием низкой мотивации, незаинтересованности в выполняемой работе, а вовсе не нарастания состояния утомления. Они отмечают, что субъективные оценки утомления зависят от таких внешних по отношению к операционной стороне деятельности факторов, как уровень притязаний и степень возложенной ответственности.

Субъективные оценки утомления связаны и с оценкой сложности выполняемой деятельности [47]. Известен и тот факт, что вознаграждение может увеличивать время, в течение которого испытуемый остается работоспособным. Также сами опросники характеризуются такими недостатками, как социальная желательность, необходимость учета языковых и культурных особенностей испытуемых.

При использовании методов субъективного шкалирования также может наблюдаться ряд трудностей: разные испытуемые могут использовать отличающиеся друг от друга понятия для обозначения одного и того же состояния, что, в свою очередь, усложняет и процедуру конструирования опросников для изучения утомления. Также обследуемые могут испытывать сложности при дифференцировании и анализе признаков, заложенных в шкалу, поэтому необходимо учитывать уровень образования, культурные и языковые особенности, уровень интеллекта респондентов. Следовательно, оценка функционального состояния только путем фиксации субъективного отчета невозможна. Для повышения надежности получаемых данных необходимо применять эти методы в сочетании с другими [62,124,125].

Весьма перспективным по-прежнему является использование для целей контроля речевого сигнала оператора. Особенно это положение относится к диспетчерскому составу, поскольку его деятельность неразрывно связана с речью (разговор по телефону, ответы на запросы других операторов, доклады начальникам и т. п.). Данный метод не нарушает и не изменяет деятельности операторов, кроме того, он позволяет осуществить непрерывный, автоматический, дистанционный и бесконтактный контроль состояния оператора.

Многими исследователями изучалась вариативность речевого сигнала, обусловленная как индивидуальными особенностями диктора, так и его психофизическим состоянием (ПСФ), а также перекрестным влиянием этих факторов. Несмотря на более чем полувековую историю работ в этой области, до сих пор исследователи получают либо недостоверные и противоречащие результаты, либо результаты, основанные на корреляционной обработке сигналов с некоторыми модификациями, не вскрывающей физическую картину вариативности.

Известно, что речевой тракт человека может быть приближенно представлен в виде сложной акустической резонирующей системы с медленно меняющимися параметрами (соотношение между входом и выходом системы описывается дифференциальным уравнением). Считается, что на вход такой системы в случае классификации сегмента речевого сигнала как вокализованного подается возбуждающий сигнал импульсного характера, в противном случае — шум. Такая модель в исследованиях используется достаточно часто, но лишь для физической интерпретации результатов, так как даже модельные дифференциальные уравнения имеют очень сложный вид и вряд ли могут быть пригодны для исследований. Влияние психофизического состояния дикторов проявляется в следующих параметрах модели речеобразования:



- изменение основного тона. Основной тон (ОТ) определяется как период последовательности моментов времени, в которые на вход резонирующей системы поступают импульсы возбуждения — колебания голосовых связок, модулирующих поток воздуха из легких, трахеи в гортань. Иными словами, ОТ определяется как интервал времени между моментами начала колебаний голосовых связок. Таким образом, проявление эмоций в речевом сигнале приходится на вокализованные сегменты (грубо говоря, гласные и некоторые типы согласных);
- изменение длительности звуков и пауз. Считается, что неравновесное эмоциональное состояние диктора ведет к сокращению длительности звуков и изменению среднестатистической длительности пауз (длительность пауз может как увеличиваться, так и уменьшаться);
- изменение формы импульса возбуждения речевого тракта;
- изменение динамического диапазона речи;
- смещением энергетического спектра речи;
- изменением частотного спектра речи (увеличение или уменьшение числа спектральных составляющих).

Некоторые исследователи полагают, что индивидуальная и эмоциональная вариативности речевого сигнала (РС) могут быть скрыты в коартикуляционных эффектах (изменениях РС при переходе от одной фонемы к другой, вызванных перестройкой резонирующих полостей речевого тракта). Эта точка зрения, безусловно, имеет право на существование, однако эксперименты показывают, что индивидуальные особенности РС «растянуты» по всему спектру РС. В этих экспериментах устанавливалось наличие индивидуальных особенностей в РС после его низкочастотной, полосовой и высокочастотной фильтраций. Полосы пропускания фильтров покрывали весь значимый интервал спектра РС и давали сходный и достаточно высокий эффект узнавания дикторов по стандартным фразам. Поэтому коартикуляционные эффекты являются, скорее всего, дополнительным источником информации об индивидуальных особенностях диктора или его психофизиологического состояния (ПФС).

Изменение основного тона считается наиболее важным показателем изменения ПФС диктора и проявляется прежде всего в изменениях среднего значения ОТ, дисперсии (среднеквадратичного отклонения), изрезанности мелодического контура речи (сумма по модулю всех изменений ОТ).

Основная проблема при измерении ОТ заключается в том, что нет возможности точно выделить такие временные интервалы, вначале

которых возникают колебания голосовых связок. Временная (пороговая, корреляционная) или спектральная обработки дают недостоверные или огрубленные результаты и не позволяют отслеживать динамику ОТ, более сложная (гомоморфная) не устойчива к влиянию шума. Решение этой задачи методом деконволюции (решение обратной задачи для свертки последовательности импульсов и импульсной реакции голосового тракта) невозможно из-за недостатка априорной информации.

Авторами в работе [25] была изучена возможность определения ОТ с помощью непрерывного (интегрального) вейвлет-преобразования и получено подтверждение применимости предложенного метода на практике. В последующей обработке динамики ОТ необходимо отделять интонационную компоненту от эмоциональной (например, вопросительная интонация дает закономерную динамику изменения ОТ, но психофизическое состояние диктора может быть различным — равновесным или стрессовым). Установлено увеличение дисперсии ОТ (усиление изрезанности динамики ОТ) и изрезанности мелодического контура.

Изменение формы импульса возбуждения речевого тракта по мнению некоторых исследователей является информативной характеристикой ПФС оператора, так как сказывается на квазипериоде основного тона, интервале времени между приходом импульсов возбуждения, так как изменяется количество нескольких максимумов и расстояний между ними.

Следующая характеристика — длительность звуков (фонем и пауз), также приводит к одной из до сих пор не решенных проблем обработки речевых сигналов — межфонемной сегментации.

Необходимо уточнить, что под «изменением» какой-либо характеристики нужно понимать закономерное (то есть статистически устойчивое) изменение этой характеристики под влиянием набора факторов, так как помимо индивидуальной и эмоциональной вариативностей существует еще один тип вариативности РС, с индивидуальными и эмоциональными особенностями не связанный. Этот тип связан с изменением речевого сигнала, связанного с интонацией (восклицательной, вопросительной, завершенного и незавершенного повествования).

Разделение изменения какой-либо характеристики речевого сигнала, вызванного эмоциональной напряженностью, от изменения, вызванного восклицательной или вопросительной интонацией, является дополнительным осложняющим фактором. С другой стороны,

важно отметить, что для идентификаций функциональных состояний достаточно различить только два ПФС: равновесное (спокойное и стрессовое). Это упрощает задачу, так как выбор большей размерности ПФС приводит к более сложной задаче с субъективно определяемыми условиями. В нашем же случае мы имеем дело только с задачей различения менее субъективных гипотез: стресс есть, стресс отсутствует.

Для бесконтактного контроля состояния оператора на железнодорожном транспорте можно использовать актограмму — регистрацию произвольных перемещений положения тела оператора относительно кресла. Информация о состоянии оператора в виде электрических сигналов снимается с тензодатчиков, закрепленных на металлической основе под сидением кресла. По частоте колебаний актограммы возможна диагностика по крайней мере трех состояний оператора: утомление (0,23–0,32 Гц), нормальная работоспособность (0,15–0,23 Гц), потеря бдительности, сон (менее 0,15 Гц). Однако надо иметь в виду, что пороги изменения каждого из этих состояний строго индивидуальны для различных людей.

Бесконтактный контроль состояния оператора на железнодорожном транспорте может быть осуществлен также с помощью ВЧ-фотометрии — измерения характеристик свечения (интенсивность, спектр, динамика тока) пальца или руки оператора в поле высокочастотного разряда [73].

Перспективным направлением в оценке функциональных состояний, прежде всего утомляемости, является соединение психологических, поведенческих методик с интеллектуальными техническими системами. Как известно, мониторинг утомляемости машиниста и оценка необходимости отдыха признаны важнейшими факторами безопасности движения. В неменьшей степени это относится и к диспетчерскому персоналу. Нарботанные и внедренные в практику технические устройства, подобные телемеханической системе контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ), реагируют уже после того, как машинист теряет способность управлять локомотивом. Следует также учесть, что их действие может вызвать неадекватную реакцию и, следовательно, привести к аварии.

Альтернативным и более предпочтительным является подход, основанный на применении интеллектуального прогнозирования состояния машиниста. Один из вариантов основан на обнаружении поведенческих шаблонов для определения фаз усталости и сонливости. Так, в работе [33] для этой цели в качестве перспективных опреде-

ляются системы компьютерного зрения, использующие визуальную информацию, полученную с видеокамеры, установленной в приборной панели. Сигналами, используемыми для определения усталости, могут быть моргание, закрытие глаз, зевание, поддержание головы.

Для интеллектуальных технических систем контроля необходим специально отобранный комплекс симптомов утомления, с одной стороны, адекватно отображающий фазы засыпания и усталости, а с другой — позволяющий отображенные симптомы идентифицировать этими системами.

Однако обзор разработок Ugobe, Machine Perception, NeuroSky, VibraImage, Sound Intelligence, TruMedia, FaceReader, Federal Express, Массачусетского технологического института, университетов Женевы и Токио, Microsoft, Apple, Sony, проведенный Ю. А. Орловой [23], свидетельствует, что на сегодняшний момент не существует системы, полностью реализующей анализ всех средств передачи эмоциональных реакций человека. В то же время повышенный интерес зарубежных и российских специалистов и темпы развития технологий показывают актуальность и востребованность автоматизации определения эмоциональных реакций человека-оператора, в том числе операторов железнодорожного транспорта.

Как было отмечено выше, другая группа психологических методов изучения утомления основана на оценке успешности выполнения деятельности. Здесь анализируются количество, качество, скорость выполнения работы, а также изменение соответствующих психологических функций, например мышления, памяти и внимания. Традиционно для решения этих задач использовались такие методики, как корректурная проба Бурдона, метод непрерывного счета однозначных чисел Крепелина, метод элементарной шифровки Пьерона-Рузера и другие. Также применялись такие методы, как теппинг-тест и измерение КЧМ для оценки утомления [101,122]. За рубежом известны работы, в которых оценка утомления осуществлялась также с помощью методов изучения внимания. Исследования показали, что эти методы очень эффективны, поскольку утомление оказывает существенное влияние на произвольное внимание. Эти результаты подтверждались данными, полученными с помощью ЭЭГ, которую проводили параллельно с выполняемым испытуемым заданием на внимание [53].

В рамках этого же направления неоднократно возникали попытки поиска интегральных показателей изменения работоспособности. Так, в работах Бродбента и Макворта для оценки изменений функ-

ционального состояния применялись эксперименты на обнаружение сигнала. В этих работах вводились такие интегральные показатели, как способность детекции сигнала и осторожность в ответах [47].

Применение этих методов, по мнению В. П. Зинченко и его коллег, является одним из наиболее перспективных путей решения проблемы диагностики утомления.

Эти методы, с одной стороны, непосредственно характеризуют функциональные возможности испытуемого, а с другой — объективны в том смысле, что исключают возможность сознательного завышения оценки работоспособности, что может иметь место при использовании опросных методов.

Однако, как отмечают многие исследователи, большинство этих методов имеет два серьезных недостатка. Во-первых, задачи, по выполнению которых судят о функциональном состоянии, плохо моделируют реальную деятельность испытуемого. А значит, полученные таким образом данные характеризуются низкой экологической валидностью. Следовательно, распространение выводов, полученных в эксперименте, на реальные условия становится невозможно. Во-вторых, функциональные методы исследования утомления позволяют оценить лишь результативную сторону деятельности, но практически ничего не говорят о причинах наблюдаемых изменений.

Таким образом, и физиологические, и психологические методы исследования утомления, как и оценка функционального состояния оператора по параметрам трудовой деятельности, отличаются рядом достоинств, но имеют и свои недостатки. Частные критерии трудовой деятельности по сути первичные индиканты трудовой деятельности оператора. В свою очередь, эти частные критерии могут быть определены с помощью психологического метода. В этом случае состояние психических процессов является уже вторичным индикантом. И наконец, физиологические параметры, определяя состояние психических функций, выступают в роли лишь третичных индикантов трудового процесса. Поэтому, определяя состояние оператора, необходимо иметь достаточно полное представление не только о третичных, но и о вторичных и первичных индикантах деятельности оператора.

Таким образом, отдать предпочтение или рекомендовать к исключительному пользованию какой-либо один из рассмотренных методов мы не можем. У каждого из них есть свои достоинства и свои недостатки. Оценка состояния оператора по показателю, основанному на оценке качества работы, связана с рядом трудностей. Один и тот же эффект работы может иметь разную «психологическую

стоимость». Поэтому рассматриваемый показатель, несмотря на его простоту, в большинстве случаев не может служить прямым и тем более единственным показателем при оценке состояния человека. Возникает необходимость сопоставления его с рядом других показателей, более непосредственно отражающих состояние человека. Оценка состояния оператора с помощью физиологических измерений, несмотря на трудности идентификации физиологических параметров с психологическими, необходимости соотнесения состояния психических функций с состоянием навыка, привлекает большое число исследователей возможностью осуществления непрерывного контроля.

Очевидно, только разумное сочетание всех рассмотренных методов позволит наиболее точно ответить на интересующий нас вопрос о возможности выполнения оператором возложенного на него задания. Выбор параметров, задействованных в системе диагностики, должен базироваться прежде всего на анализе деятельности оператора при выполнении им конкретных задач в конкретных производственных условиях. В ряде случаев даже незначительное изменение производственного процесса может повлечь за собой существенное изменение алгоритма деятельности оператора и, как следствие, пересмотр ансамбля контролируемых параметров. Поэтому построение машины диагностики должно начинаться с анализа деятельности оператора.

Рассмотрим теперь еще один метод, который был создан как попытка преодоления недостатков этих методов и объединения их сильных сторон. Это психометрический метод, разработанный В. П. Зинченко, А. Б. Леоновой и Ю. К. Стрелковым.

#### **4.2.5. Психометрический подход к исследованию проблемы утомления В. П. Зинченко**

В качестве базового подхода в своем исследовании В. П. Зинченко и его коллеги приняли такую методологию изучения процесса переработки информации, как микроструктурный анализ. Целью такого подхода является изучение операционной структуры познавательной деятельности. Процесс переработки поступающей информации тогда представляется в виде сложной иерархической структуры функциональных блоков, каждому из которых соответствует определенная психологическая операция. Работа отдельных функциональных блоков характеризуется определенными количественными параметрами: объемом хранимой информации и временем хранения, а также сложностью выполняемых преобразований и местом в общей структуре [47].

Экспериментальная психология 70-х годов активно исследовала процессы переработки информации, в результате чего было накоплено значительное число данных о протекании кратковременных процессов и предложено несколько гипотетических моделей переработки информации. Возможно, именно поэтому поиск методик для исследования утомления осуществлялся среди тех тестов, которые изначально были созданы для изучения кратковременной памяти.

Так как экспериментальная работа по исследованию утомления велась опосредованно через изучение динамики изменения протекания кратковременных процессов под воздействием нагрузки, то большое внимание авторы уделили рассмотрению самой структуры кратковременной памяти. Обратимся к ней.

В системе кратковременной памяти было выделено три основных гипотетических блока, предназначенных для хранения предъявленной информации: сенсорная память (она существует в каждой модальности и характеризуется большой емкостью и малым временем хранения следа; ее функция состоит в «удлинении» периода предъявления информации, необходимого для более тщательной обработки и создания адекватного образа окружающей ситуации), первичная память (сюда попадает уже отобранная и перекодированная информация, здесь она помещается на хранение; по сравнению с сенсорной памятью она имеет небольшую емкость, но значительно большее время хранения, которое необходимо для дальнейшей обработки и воспроизведения или в случае необходимости перевода во вторичную память, что осуществляется с помощью операций повторения) и вторичная память (отличительной чертой этого блока является семантическая обработка материала, именно выделение смысловых связей в предъявленной вербальной информации позволяет избежать быстрого забывания; в отдельных случаях, когда семантическое кодирование неэффективно, во вторичной памяти хранятся фонематические коды, например при запоминании ряда бессмысленных слогов).

Перевод информации из одного блока в другой осуществляется с помощью таких операций, как фильтрация материала, его опознание, перекодирование (вследствие работы этих механизмов из всей предъявленной испытуемому информации только незначительная часть передается на более длительное хранение) и повторение (это любая активность субъекта, направленная на минимизацию забывания; оно позволяет сохранить информацию в первичной памяти, перевести информацию во вторичную память, подготовить ответ — при повторении формируется способ группировки материала, отбирается материал для воспроизведения).

Конечной целью работы всей системы является хранение информации и воспроизведение ее в нужный момент времени в соответствии с требованиями задачи (оно включает в себя систему операций, обеспечивающих восстановление следа в памяти, принятие решения относительно типа ответа на основе некоторого критерия и собственно ответную реакцию, которая представляет собой актуализацию моторных инструкций во внешней речи или в соответствующих двигательных актах).

Основной гипотезой работы В. П. Зинченко и его коллег является следующее предположение: утомление избирательно влияет на работу отдельных функциональных блоков, снижая эффективность соответствующих перцептивных, мнестических и когнитивных операций, при этом на разных стадиях утомления будут изменяться не только общий уровень действия в целом, но и степень участия и успешность выполнения той или иной операции.

Для тестирования влияния утомления на работу отдельных функциональных блоков они использовали следующие методики.

*Время реакции (ВР).* На короткое время испытуемому предъявлялась одиночная цифра. Необходимо было как можно быстрее воспроизвести ее на пульте. Регистрировалась правильность ответа и его латентное время. Измерение этого параметра позволяло авторам уточнить временные характеристики отдельных операций и выделить групповые и индивидуальные различия в способах выполнения.

*Поиск сигнала в шуме (ПСШ).* Испытуемому предлагалось отыскать заданную цифру в последовательности цифр, предъявляемых одна за другой в одном и том же месте поля зрения. Последовательность цифр предъявлялась после цифры-инструкции с интервалом, отличающимся от величины интервалов между стимулами. Испытуемый должен был определить, предъявлялась ли цифра-инструкция в ряду. С помощью данной методики исключалось влияние блоков первичной памяти, повторения и определялась скорость извлечения информации из сенсорной памяти.

*Опознание (ОП).* Испытуемому предъявлялась последовательность цифр, затем ему давалась послестимульная инструкция. Испытуемый должен был ответить, присутствовала ли в последовательности цифра, указанная в послеинструкции. Цифра для опознания выбиралась с некоторой вероятностью из предъявленного ряда (условие «сигнал») или из отсутствующих цифр (условие «шум»). Когда цифра-инструкция присутствовала в последовательности, частота ее появлений на разных позициях была одинаковой.



Совместное проведение экспериментов по методикам полного воспроизведения и опознания давало возможность авторам определить характеристики работы блока первичной памяти и степень влияния механизма воспроизведения на хранение информации.

*Полное воспроизведение (ПВ).* Испытуемому предъявлялась последовательность цифр, после чего он должен был воспроизвести на пульте весь ряд в свободном порядке или в порядке предъявления. Совместное проведение экспериментов по методикам опознания и полного воспроизведения позволяло В. П. Зинченко и его коллегам осуществить анализ работы блока первичной памяти и механизма воспроизведения.

*Полное воспроизведение с интерферирующей задачей (ПВИЗ).* Испытуемому предъявлялся ряд цифр для запоминания, а затем, через варьируемый промежуток времени задержки, давалась слуховая или зрительная интерферирующая задача. Испытуемый отвечал, был ли между стимулами и интерферирующей задачей интервал, отличный от других, и только потом воспроизводил предъявленный цифровой ряд. С помощью этой методики определялась скорость работы блока повторения.

*Определение отсутствующей цифры (ООЦ).* Перед началом предъявления стимульного ряда испытуемому с помощью цифры-инструкции указывалась длина алфавита (то есть величина отрезка натурального ряда, из которого будет выбрана последовательность). Затем испытуемому предъявлялся ряд цифр, длина которого на единицу меньше длины алфавита: в нем в случайном порядке были расположены все цифры соответствующего отрезка натурального ряда, кроме одной. Испытуемый должен был определить отсутствующую цифру.

В предварительном эксперименте участвовало 40 учеников седьмого класса в возрасте 12–13 лет. В опытах исследовалась зависимость правильности и быстроты ответов от действия двух основных факторов: утомления и типа задачи. Все методики проводились в начале и в конце учебного дня.

Выполнение каждой задачи анализировалось по следующим показателям: изменение наклона позиционной кривой (ППО), число ошибок типа «ложных тревог» (ОЛТ) и латентное время ответа (ЛВО).

В предварительном эксперименте авторами были получены следующие результаты. При выполнении задачи время реакции ППО и ЛВО не изменялись. При выполнении задачи «поиск сигнала в шуме» показатели ППО и ЛВО становились меньше, а ОЛТ — больше. При выполнении задачи «опознание» показатель ППО уменьшался, а показатели ОЛТ и ЛВО не изменялись. При выпол-

нении задачи «определение отсутствующей цифры» показатель ППО не изменялся, а показатель ЛВО становился больше. При выполнении задачи «полное воспроизведение» показатель ППО становился меньше, а показатель ЛВО не изменялся. При выполнении задачи «полное воспроизведение с интерферирующей задачей» показатели ППО и ЛВО не изменялись.

Исходя из полученных данных, авторы работы делают вывод о том, что под воздействием развивающегося в течение дня утомления происходит значимое изменение показателей выполнения большинства экспериментальных задач. При этом ни один из отдельно взятых поведенческих показателей не может быть достаточно надежным индикатором утомления. Характер измерения показателей в первую очередь зависит от типа задачи. Кроме того, они заключают, что утомление не сказывается в одинаковой степени на всякой деятельности, а затрагивает лишь некоторые специфические структуры и операции. Они предположили, что подверженные влиянию утомления операции входят в микроструктуру процессов решения задач ПСШ, ОП, ООЦ и ПВ и не используются при выполнении задач ВР и ПВИЗ, показатели выполнения которых не меняются в течение дня.

В ходе предварительного исследования они также установили, что оценка утомляемости затруднена в случае существования значительных индивидуальных различий и усреднения данных по большой группе испытуемых. Кроме того, они заметили, что на начальной стадии исследования нежелательными факторами являются возрастные особенности испытуемых, их недостаточная обученность. Поэтому при проведении основных экспериментов в опытах у них принимали участие трое постоянных взрослых испытуемых. Это позволило им оценить эффективность работы отдельного человека под влиянием нагрузок разной интенсивности.

Полученные в предварительном эксперименте результаты В. П. Зинченко и его коллеги проверили и уточнили в основной части эксперимента. Здесь они показали влияние утомления на следующие процессы: обработку информации в сенсорной памяти, хранения и воспроизведения информации и на элементарные семантические преобразования информации. Рассмотрим кратко ход основной части эксперимента и результаты, полученные в ней.

Влияние утомления оценивалось по изменению показателей выполнения задач от утренних к вечерним опытам. Изменение эффективности выполнения задач оценивалось по изменению правильности ППО и скорости ЛВО ответов испытуемых к концу рабочего дня.

Влияние утомления на обработку информации в сенсорной памяти оценивалось с помощью методики «поиск сигнала в шуме» (ПСШ). Испытуемым предъявлялась цифра-инструкция и последовательность цифр. Требовалось определить, присутствовала ли сигнальная цифра в последовательности. Объективная вероятность предъявления искомой цифры в ряду (условие «сигнал») —  $2/3$ , причем с равной вероятностью цифра могла присутствовать на любой позиции. В  $1/3$  всех проб искомая цифра отсутствовала в ряду (условие «шум»). В экспериментах варьировались два фактора: длина последовательности (ДП) и межсигнальный интервал (МСИ).

Анализ результатов исследования привел авторов к выводу о том, что эффективность выполнения задачи ПСШ при утомлении страдает незначительно. Однако в условии «шум» при достаточно большом числе экспериментальных условий возрастает количество ошибок типа «ложных тревог». Следовательно, заключают авторы, в конце рабочего дня критерий, с помощью которого оценивается присутствие цифры, становится неустойчивым. А значит, в этих условиях существуют факторы, затрудняющие его выбор.

Одним из таких факторов может быть увеличение продолжительности хранения следа цифры-инструкции в сенсорной памяти при утомлении. Важно заметить, что при небольших МСИ происходит увеличение правильности ответов на последней позиции, а при больших — увеличение правильности ответов на первой. Они предположили, что при утомлении лучше воспроизводится та цифра, след которой первым восстанавливается из памяти и сравнивается со следом инструкции. Тем не менее для большинства испытуемых было характерно сохранение постоянного уровня правильности ответов при увеличении ЛВО в вечерних опытах. Этот факт был объяснен относительной легкостью данного задания для взрослых испытуемых. В то же время в задаче ОП анализ этих явлений оказывался плодотворным и подтвердил выдвинутую авторами гипотезу о влиянии утомления на продолжительность хранения информации в сенсорной памяти.

Исследование характера влияния нагрузки на эффективность хранения и воспроизведения информации проводилось путем сопоставления результатов, полученных в эксперименте по методикам опознания (ОП) и полного воспроизведения (ПВ).

Задача ПВ — наиболее общая из всех предложенных методик. Ее выполнение предполагало включение в работу всех блоков системы переработки поступающей информации. Для полного воспроизведения необходимо не только сохранение информации, но и удержа-

ние ее в первичной памяти с помощью повторения, называние каждого элемента ряда и развернутый ответ. При решении задачи ОП влияние механизма воспроизведения сведено к минимуму, для этого необходимо только сканирование хранящейся в первичной памяти информации и сравнение ее с предъявленным для опознания стимулом. Повторение в этой задаче несет функцию сохранения материала в первичной памяти. Выполнение задачи ОП определяется механизмами хранения и извлечения информации из первичной памяти. Они предположили, что способ запоминания информации в обеих задачах одинаков, поэтому сопоставление результатов, полученных по обеим методикам, позволило им не только определить пригодность каждой из этих задач для тестирования утомления, но и проследить характер влияния нагрузки на операции хранения и воспроизведения.

Каждая из задач встречалась в опыте с вероятностью 1/2. Испытуемому предъявлялась последовательность цифр. После этого, в зависимости от послеинструкции, испытуемый должен был либо полностью воспроизвести ряд, либо определить, встречалась ли в последовательности цифра, указанная в инструкции. В экспериментах варьировалась длина последовательности и величина интервала между стимулами.

Результаты по данным методикам показали, что при выполнении задач ОП и ПВ в большинстве экспериментальных условий наблюдалось значимое снижение процента правильных ответов или увеличение ЛВО к концу длительно выполняемой работы. Исходя из полученных данных, В. П. Зинченко и его коллеги предположили, что при утомлении усиливается влияние характеристик сенсорного следа на процессы переработки информации. Однако в наибольшей степени при утомлении нарушаются процессы, связанные с переводом информации из первичной памяти во вторичную и с ее восстановлением — операции повторения и поиска в памяти.

Авторы данной работы также провели исследование воздействия нагрузки на операции, обеспечивающие выделение смысловых связей в материале при кратковременном запоминании. В качестве экспериментального приема изучения данного вопроса была использована методика ООЦ. От испытуемого не требовалось запоминания и развернутого воспроизведения всей предъявленной информации. Ему было необходимо лишь указать, какая цифра из заранее известного набора не предъявлялась.

Для выполнения такой задачи требовалось осуществление достаточно сложных преобразований: испытуемый должен в течение не-

которого времени удерживать в памяти ряд цифр, предъявленных в случайном порядке, сопоставить его с заданным алфавитом — отрезком натурального ряда и обнаружить отсутствующий элемент. Для выполнения подобных операций необходимо постоянное обращение к информации, хранящейся долговременно. Сопоставление результатов выполнения задачи ООЦ с результатами экспериментов по методикам ОП и ПВ позволило им определить, каким образом воздействует утомление на операции, осуществляющие собственно смысловую обработку информации.

Авторы заметили, что под влиянием утомления происходит значимое уменьшение показателей решений этой задачи, прежде всего правильности ответов. Это дает им возможность рекомендовать задачу ООЦ в качестве наиболее чувствительного теста для диагностики утомления. Было предположено, что влиянию утомления в наибольшей степени подвержены операции трансформации материала или же операции установления ассоциативных связей, выполняемых с опорой на хранящуюся во вторичной памяти информацию.

Авторы подчеркивают в заключении к своей работе, что проведенные ими экспериментальные исследования свидетельствуют о существовании устойчивого влияния утомления на микроструктуру процессов кратковременной памяти. А предлагаемую ими систему функциональных проб они рассматривают как пригодную для диагностики утомления.

На основании проведенных ими исследований они отобрали наиболее чувствительные к влиянию утомления методики. К их числу относятся задачи опознания (ОП), полного воспроизведения (ПВ) и определения отсутствующей цифры (ООЦ). Методика «поиск сигнала в шуме» (ПСШ) пригодна для оценки функционального состояния в ограниченном числе случаев — для испытуемых определенной возрастной группы. Методики «время реакции» (ВР) и «полное воспроизведение с интерферирующей задачей» (ПВИЗ) не обнаружили существенных сдвигов уровня выполнения при утомлении.

Также им удалось установить, что эффект утомления был сильнее выражен в случае большей нагрузки на память. Однако степень нагрузки определяется в первую очередь трудностью выполняемой задачи. Относительно скорости предъявления ряда они сделали следующий вывод: наиболее чувствительными к утомлению оказываются «средние» значения МСИ.

Результаты проведенных авторами исследований показали, что правильность ответов является более точным и легко интерпретируемым

показателем утомления по сравнению с величиной латентного времени ответа. Они объяснили этот факт следующим образом: изменение правильности ответов непосредственно свидетельствует о сдвиге уровня работоспособности, а быстрота выполнения задачи говорит об успешности решения. Однако для диагностики развития утомления необходимо создание некоторого интегрального показателя, объединяющего данные об изменении правильности и скорости выполнения различных задач.

Также результаты, полученные в данной работе, по мнению ее авторов, подтверждают представления о возможности локализованного действия утомления. Причем проведенный ими анализ позволил определить те операции, которые нарушаются под воздействием нагрузки. А именно в подобных условиях отмечаются увеличение продолжительности хранения информации в сенсорной памяти, нарушение операций повторения и извлечения материала из первичной памяти, а также нарушение операций установления семантических связей во вторичной памяти. Относительно неизменными остаются продолжительность хранения информации в первичной памяти, а также операции сенсорной обработки единичного стимула, его опознания, перевода в первичную память и ответа. При характеристике процессов преобразования информации в кратковременной памяти именно эти операции были отнесены авторами в ряд контролируемых. Осуществляя внутренний контроль за прохождением информации в системе кратковременной памяти, эти операции, как отмечают авторы, выполняют функцию внимания. Следовательно, утомление приводит к нарушению выполнения тех операций, которые требуют максимальной мобилизации внимания.

Таким образом, нами был рассмотрен еще один подход к изучению проблемы утомления. Он отличается полнотой исследования, возможностью произведения математической обработки, использования компьютерных методов для тестирования, что повышает мобильность исследования, а также расширяет спектр применения заданий для тестирования. Также подход В. П. Зинченко и его коллег показал возможность применения таких методов исследования утомления, содержание которых близко к самой деятельности, в рамках которой может возникать это состояние. Данный подход раскрыл механизм развития утомления на уровне кратковременных процессов.

Тем не менее развитие науки и техники позволяет находить новые решения стоящих перед нами задач исследования проблемы утомления. Помимо этого, на наш взгляд, для исследования умственного утомления можно воспользоваться и более общей моделью пере-

работки информации, не требующей обращения к кратковременным процессам памяти. В целом, характеризуя механизм переработки информации, можно выделить два основных этапа: первичная сенсорная обработка и семантическая переработка поступившей информации, включающая в работу комплекс когнитивных процессов. Кроме того, В. П. Зинченко и его коллеги в своей работе обращались преимущественно к проблеме памяти, используя тесты, созданные для исследования этого когнитивного процесса, в качестве тестов на утомление.

Однако известно достаточно большое количество работ, где указывается, что сильнее всего утомление влияет на процессы внимания. Так, как мы отмечали выше, традиционно для исследования утомления использовались такие методики, как: корректурная проба Бурдона, непрерывный счет однозначных чисел Крепелина, элементарная шифровка Пьерона-Рузера и другие подобные методики. Все эти тесты создавались в первую очередь для изучения внимания.

В зарубежных исследованиях также показана такая возможность, которая была подтверждена с помощью параллельного применения физиологических методов [133]. И сами авторы психометрики утомления в заключении своей работы отметили, что утомление приводит к нарушению выполнения именно тех операций, которые находятся в наибольшей зависимости от уровня внимания, от возможности его мобилизации [47]. Поэтому в своей работе мы применим методики, которые смогут отмечать изменения уровня мобилизации внимания под воздействием ментальной нагрузки. А поскольку мы пользуемся обобщенной схемой переработки информации, не менее важным для нас является уровень семантической обработки. И здесь, на наш взгляд, правомерно обратиться к проблеме понимания. Можно предположить, что утомление существенным образом влияет на понимание.

Подводя итог всему вышесказанному, отметим основные принципы, которыми мы будем руководствоваться в нашем исследовании: подбор таких методов изучения утомления, содержание которых близко к той деятельности, в рамках которой развивается данное состояние (это то, что было предложено В. П. Зинченко и его коллегами в качестве основополагающего принципа для создания методов оценки утомления, применимых затем в реальной деятельности испытуемых); но в отличие от авторов работы «Психометрика утомления» мы будем опираться преимущественно на процессы внимания и понимания, а не памяти; кроме того, будем обращаться к более общей схеме переработки информации и применять современные компьютерные методики. Также в своей работе мы должны будем опираться

на ряд принципов психодиагностики функционального состояния, о которых мы скажем ниже.

Теперь, после того как было операционализировано само понятие утомления, раскрыты причины его возникновения, проанализированы различные подходы к его изучению, можно, наконец, перейти к рассмотрению ряда методов когнитивной психологии, возможность применения которых для оценки утомления мы исследуем в нашей работе.

#### **4.2.6. Возможность применения ряда методов когнитивной психологии для изучения состояния утомления**

Рассмотрим возможность использования ряда методов когнитивной психологии для оценки утомления, а также те теории, на которых основываются данные методы.

*Использование теста «Локатор» для фиксации утомления на уровне сенсорной обработки*

Данная методика создавалась для исследования обнаружения зрительных сигналов в различных экспериментальных условиях. В случае применения данного метода возникает возможность варьировать целым рядом экспериментальных условий: яркость помех; размер цели (целью является пиктограмма самолета); время экспозиции; количество помех; оттенок экрана. Это, в свою очередь, позволяет повысить информативность получаемых результатов (предмет исследования изучается более полно и разносторонне), а также расширить возможности моделирования реальной деятельности испытуемого.

Этот тест напоминает метод ПСШ (поиск сигнала в шуме), предложенный В. П. Зинченко и его коллегами. Напомним, что данный метод заключается в поиске заданной цифры в последовательности цифр, предъявляемых одна за другой в одном и том же месте поля зрения. Методика ПСШ разрабатывалась для исследования сенсорной памяти. Нам также была необходима методика, позволяющая изучать утомление, возникающее на уровне первичной сенсорной обработки поступающей информации. Поэтому задание, содержащееся в методике, должно оценивать сенсорные возможности в разных функциональных состояниях испытуемых и практически не обращаться к уровню семантической переработки. Методика «Локатор», на наш взгляд, как раз соответствует поставленным условиям.

В то же время методика «Локатор» имеет и характеристики, которые отличают ее от методики ПСШ: шум и сигнал подаются од-



новременно, а не последовательно, что в большей степени соответствует содержанию реальной деятельности испытуемых. Сигналом в тесте «Локатор» является простой объект — самолет, в отличие от метода ПСШ, где испытуемому необходимо оперировать абстрактным материалом — цифрами. Поэтому методику «Локатор» можно использовать для более широкого ряда испытуемых, отличающихся по возрасту и уровню умственного развития. А также можно заключить, что задание, заложенное в методике, практически не обращается к уровню семантической переработки, следовательно, тест может применяться для изучения утомления, возникающего именно на уровне сенсорной обработки информации.

*Применение пропозициональной схемы П. В. Торндайка для оценки ментального утомления*

П. В. Торндайк создал пропозиционную схему повествовательных текстов для того, чтобы усовершенствовать научные знания о том, как человеческая психика кодирует, обрабатывает, хранит и запоминает повествования. При создании такой схемы он опирался на представления о существовании пропозициональных сетей.

Сама по себе идея о том, что сложные понятия можно выразить при помощи простых отношений, не является новой — она была центральной еще в древнегреческой философии и послужила фундаментальной посылкой для развития ассоцианизма в XIX веке. Эта же идея приобрела большую популярность среди когнитивных психологов. Дж. Андерсон определил пропозиции как наименьшие единицы знания, которые могут быть выделены в отдельное высказывание. Пропозиции — наименьшие из значимых единиц [6, 127]. Многие теоретики признают концепцию пропозициональной репрезентации знаний, но каждый понимает ее по-своему.

Дж. Андерсон и Дж. Бауэр полагали, что представление знаний в виде сети семантических ассоциаций — это основной вопрос когнитивной психологии. Чтобы найти связь между повседневными проблемами и репрезентацией знаний, они использовали пропозиции — утверждения или высказывания о сущности этого мира. Пропозиция — это абстракция, которая передает фразу и похожа на нее — нечто вроде отдельной структуры, связывающей идеи и понятия. Пропозиции чаще всего иллюстрируются семантическими примерами, но другие виды информации, например зрительная, также могут быть представлены в памяти в виде пропозиций.

Выделяют следующие основные характеристики пропозиций: это абстракции, основанные на наблюдениях (таких как чтение текстового материала или слушание говорящего); они удерживаются в памяти и подчиняются законам памяти.

В системе В. Кинча пропозиция состоит из предиката и одного или более аргументов. Предикату соответствуют глаголы, прилагательные, наречия или соединительные частицы, являющиеся элементами устной и письменной речи. Это называется «поверхностной структурой» — такой термин использовали некоторые лингвисты, включая Хомского. Аргументу соответствуют существительные, обороты с существительными и словосочетания.

В данной модели пропозиции подразделяют текст на значимые единицы, а правила согласования служат для организации пропозиций в своего рода семантическую сеть.

Модель понимания по Кинчу основывается на идее, что пропозиция является основной единицей памяти на текстовый материал. Эта модель показывает также следующую закономерность: чем сложнее пропозициональная структура предложения, тем труднее его понимать, — даже если поверхностная сложность этих двух предложений примерно одинакова.

Утверждение, что под внешней структурой языка скрывается его глубинная структура, подчиняющаяся правилам преобразований, привело к распространению предположения о существовании других скрытых когнитивных структур. Так, Дж. Брэнсфорд и Дж. Фрэнкс предложили гипотезу, которая заключается в следующем: люди формируют абстракции внешних впечатлений, и именно эти абстракции хранятся у человека в памяти. Они выдвинули также гипотезу, касающуюся кодирования предложений. Они составляли сложные предложения, состоящие из четырех простых изъяснительных предложений, из которых можно было удалить одно, два или три, оставив, таким образом, в составе сложного предложения соответственно три, две или одну пропозицию. Они провели эксперимент, в результате которого стало ясно, что люди не изолируют предложения, если они семантически связаны. Информация из различных предложений каким-то образом объединяется в некую абстрактную форму, и эта абстракция запоминается человеком лучше, чем конкретная форма.

Другой подход к текстам — это представление повествовательной информации в виде иерархической структуры, где более важные высказывания поддерживаются менее важными. Именно с такой пози-

ции некоторые исследователи изучали структуры повествований, например П. В. Торндайк [108, 109, 160].

Кратко остановимся на специфике данного метода. Торндайк разработал оригинальный метод в русле междисциплинарного подхода когнитивной науки. Он представлял повествовательную информацию в виде иерархической структуры, где более важные высказывания поддерживаются менее важными. Компонентами такой иерархии являются пропозиции. Понятие «пропозиция» здесь принимается в трактовании Дж. Андерсона и, следовательно, определяется как наименьшая единица знания, которая может быть выделена в отдельное высказывание..

Рассказы, согласно П. В. Торндайку, обычно имеют определенную структуру. Она включает описание обстановки, персонажей, состояния, событий, цель, подцель, попытки, тему или сюжет, эпизоды, результат, развязку, вокруг которых и образуется рассказ. Термином «структура» он обозначил синтаксис организации сюжета. П. В. Торндайком была разработана «грамматика рассказа», позволяющая разделить имеющиеся в рассказе компоненты более высокого уровня на более простые. Приведем правила его «грамматики рассказов».

1) рассказ → обстановка + тема + сюжет + развязка

2) обстановка → персонажи + место + время

3) тема → (событие)\* + цель

4) сюжет → эпизод\*

5) эпизод → подцель + попытка\* + результат

6) попытка → { событие\*  
                  эпизод

7) результат → { событие\*  
                  состояние

8) развязка → { событие  
                  событие  
                  состояние

9) подцель } → желательное состояние  
   цель      }

10) персонажи } → состояние  
      место      }  
      время     }

Первое правило определяет, что рассказ состоит из описания обстановки, темы, сюжета и развязки — обычно именно в такой последовательности идут элементы рассказа. Последующие правила

определяют дальнейшее подразделение элементов, причем некоторые элементы могут повторяться (например, в сюжете рассказа может быть неограниченное количество эпизодов — в правилах данные элементы отмечены звездочкой).

При помощи этой грамматики Торндайк провел анализ рассказа «Остров Круга». Кроме того, Торндайк выделил 4 уровня расположения пропозиций. Эта структура предполагает, что пропозиции более высокого порядка важнее для читателя, чем пропозиции более низкого уровня. Этот факт был подтвержден Торндайком экспериментально: после прочтения этого рассказа испытуемых просили оценить важность отдельных пропозиций для сюжета в целом. Как автор и предполагал, испытуемые оценили пропозиции более высокого порядка как более важные по сравнению с пропозициями более низкого уровня. Более того, Торндайк доказал, что вероятность воспроизведения пропозиции зависит от ее положения в структурной иерархии. А рассказы с искаженной грамматикой воспроизводятся хуже, чем рассказы без таких искажений.

Каждая пропозиция в рассказе относилась к той или иной категории «грамматики рассказа». Так, пропозиции с 1-й по 10-ю содержат информацию об обстановке. Пропозиции с 13-й по 16-ю задают тему или цель. Пропозиции с 17-й по 20-ю определяют ряд эпизодов всего действия. Пропозиция 31-я указывает на результат, а в диапазоне с 32-й по 34-ю пропозицию излагается развязка сюжета. Также он предложил графическую форму данной «грамматики»: он изобразил структуру текста в виде дерева пропозиций, отражающего иерархическое взаиморасположение отдельных пропозиций, и отнесенность каждой пропозиции к той или иной категории «грамматики». Кроме того, на дереве пропозиций показано, что отдельные идеи или события могут быть выражены в двух пропозициях: тогда номера этих пропозиций соединены горизонтальной линией [108].

Важно отметить, что данный подход позволяет оценить уровень понимания текста испытуемым: по количеству воспроизводимых пропозиций, а также по их качественным характеристикам (ошибки, перестановка пропозиций в тексте, уровень значимости воспроизведенных пропозиций).

Следовательно, в рамках нашего исследования, посвященного проблемам утомления, делается попытка использования оценки уровня понимания текста в качестве индикатора для оценки степени утомления. Мы предполагаем, что данные явления напрямую связаны между собой: чем интенсивнее нарастает состояние утомления

у испытуемого, тем сильнее затрудняется понимание текста — оно становится фрагментарным, появляются ошибки в его интерпретации. Помимо описанных выше преимуществ использования такого метода для оценки утомления, нужно отметить еще и тот факт, что он позволяет преодолеть такой недостаток психологических методов тестирования утомления, как отсутствие соответствия между ними и спецификой той реальной деятельности испытуемого, в ходе которой развивается состояние утомления. Такое рассогласование снижает возможности оценки, прогнозирования степени утомления, а следовательно, и возможности его учета и контроля в реальной деятельности субъекта. Таким образом, совершенно очевидной становится необходимость создания такого инструментария, который по своему внутреннему функциональному содержанию будет близок к специфике объектов, с которыми испытуемые имеют дело в реальной жизни и который будет способен моделировать реальные действия испытуемого в отношении этих объектов. А деятельность, осуществляемая в эксперименте, близка к учебной и к трудовой деятельности, но при условии, что субъект занят умственным трудом. В данной методике испытуемый должен выполнять такие операции, как чтение текста, понимание его содержания с выделением основных смысловых единиц, запоминание и последующий его пересказ. Все эти операции очень часто используются в учебной и трудовой деятельности. Поэтому данные экспериментальные действия испытуемого очень близки к его реальным учебным и трудовым действиям. Следовательно, мы можем предположить, что изменение эффективности выполнения данных операций под действием нарастающего утомления в экспериментальной ситуации будет моделировать ее изменение в состоянии утомления в реальной деятельности субъекта.

*Использование теста Д. Канемана в качестве методики для исследования утомления*

Теория Д. Канемана привнесла в науку новый подход к исследованиям внимания — здесь принципиальное значение придается представлениям об энергетическом обеспечении системы. Ресурсная теория принимает положение, что существует общий предел ресурсов человека при совершении умственной работы, а также, что эти ограниченные ресурсы достаточно свободно могут быть распределены между одновременно осуществляемыми деятельностями. Ресурсная теория посвящена изучению того, как субъект направляет внимание на объекты и действия [40, 53].

Совершение умственной деятельности, согласно данной группе теорий, требует двух типов входного сигнала для соответствующей структуры: информационный, специфичный для данной структуры, и неспецифичный, который обозначается как «усилие», «ресурсы» или «внимание». Для того чтобы объяснить ограниченную возможность выполнения разнообразных видов деятельности одновременно, теория ресурсов вводит положение о том, что общее количество внимания, которое может быть использовано в некоторый момент времени, ограничено.

Наряду с аспектом избирательности переживание процесса внимания включает в себя аспект интенсивности. Выбрав какое-то направление деятельности или объект внимания, субъект может быть занят этой деятельностью или быть внимательным к данному объекту в различной степени.

При этом не все структуры нуждаются в усилии. Так, структуры раннего сенсорного анализа стимуляции в нем не нуждаются. Работа последующих структур перцептивной переработки уже требует определенного притока усилия. Источник усилия един для всех структур и, как отмечалось выше, ограничен. Последнее означает, что суммарный запрос к вниманию со стороны ряда одновременно действующих структур может быть удовлетворен полностью лишь в определенных пределах. Негативные эффекты может иметь как недостаточное, так и избыточное потребление мощности внимания. Следовательно, к системе переработки информации должен быть подключен какой-то механизм, функция которого заключается в целесообразном, эффективном и экономном использовании ограниченных ресурсов умственного усилия. Основные идеи механизма оптимального распределения усилия по различным компонентам и стадиям переработки информации Д. Канеман представил в виде модели внимания.

Данная модель включает в себя ряд взаимосвязанных блоков. Один из них это блок возможных деятельностей, оптимальная и безошибочная работа структур которого предполагает определенное количество внимания. При недостаточном вкладе усилия результаты деятельности на выходе всей системы ухудшаются. Внимание или умственное усилие, необходимое для эффективной работы данной структуры, определяется ее организацией. Разные структуры потребляют различное количество внимания. Кроме того, потребление каждой из них от момента к моменту меняется.

Текущая оценка суммарного запроса одновременно работающих структур производится другим блоком — блоком оценки необходимой

мощности. При этом, как отмечает автор, расход внимания определяется не сознательным намерением, а трудностью задачи или сложностью механизмов ее решения.

Так как Канеман связывал внимание с активацией, то данный блок также был включен им в модель. Изменение активации в определенном диапазоне сопровождается соответствующим изменением уровня доступной мощности или усилия. При умеренно высоком уровне активации доступно больше ресурсов, чем при низком, но общее количество усилия, потенциально доступного для системы переработки информации, ограничено. Главной детерминантой изменения активации и уровней доступной и потребляемой мощности, как отмечает автор, является запрос с блока оценки требований задачи.

Центральным по своему значению является блок политики распределения. Функции этого механизма заключаются в отборе структур деятельности, к которым направляется умственное усилие, и его дозировании. Работа блока зависит от четырех факторов. Политика распределения регулируется постоянными диспозициями субъекта по связи, отражающей закономерности произвольного внимания. Второй фактор — текущие намерения субъекта, который определяет произвольное обращение внимания. Третий фактор политики распределения — влияние блока оценки требований. Согласно этому правилу, снабжение усилием одной из двух одновременно выполняемых деятельностей может быть прекращено, если суммарный запрос превышает предел доступной мощности. Последней детерминантой политики распределения является уровень физиологической активации [53].

Обсуждая эффекты активации, Д. Канеман обращается к закону Йеркса-Додсона, который представляет собой эмпирически установленную зависимость продуктивности деятельности от уровня активации. Для каждой задачи существует свой оптимальный уровень активации, при котором продуктивность максимальна, причем оптимальное значение активации для простой задачи больше, чем для сложной задачи.

Д. Канеман, опираясь на свою модель, объясняет отрицательные эффекты низкой и высокой активации работой разных механизмов. Ухудшение деятельности при низких значениях активации обусловлено недостаточным вкладом усилия. Первичная причина низкой продуктивности заключается в слабости мотивации субъекта, из-за чего установка на задачу и оценка текущих результатов ее выполнения оказываются неадекватными. Ухудшение деятельности при вы-

соких значениях активации автор объясняет изменением режима функционирования блока политики распределения: в этом случае внимание стремится к сосредоточению на главных и наиболее очевидных аспектах ситуации; также снижается способность различать значимые и незначимые аспекты и в силу чего увеличивается изменчивость в работе данного блока.

Текущий уровень усилия управляется, согласно данной модели, за счет обратной связи, идущей от выполнения той деятельности, для выполнения которой оно необходимо: возрастание требований со стороны этой деятельности вызывает увеличение уровня активации, усилия. То есть активация и усилие не определяются прежде, чем начинается действие: они изменяются непрерывно, в зависимости от нагрузки, навязываемой тем, что человек делает в некий момент времени. Поэтому можно говорить о существовании стандартного распределения усилия для каждой задачи. А вложение ресурсов меньшее, чем стандартное усилие, ведет к ухудшению качества деятельности, но в большинстве задач, как утверждает автор, невозможно совсем избежать ошибок за счет произвольного увеличения усилия над уровнем стандарта, поскольку произвольный контроль усилия ограничен.

Свою модель Д. Канеман построил на основании результатов ряда экспериментальных исследований, в том числе собственных. С целью тестирования степени внимания он использовал методику вторичной зондовой задачи. Основная идея такого измерения заключается в том, что расход усилия не полностью отвечает требованиям стоящей перед субъектом задачи, поскольку уровень доступной мощности ограничен. Д. Канеман предполагает, что усилие в какой-то степени расходуется даже при отсутствии требований, то есть когда человек ничем не занят. В этом состоянии все же происходит непрерывный контроль (мониторинг) внешнего окружения. Кроме того, продолжается приток усилия, обусловленный постоянными диспозициями. Также он вводит понятие общего усилия, то есть усилия, затрачиваемого на все стоящие перед субъектом задачи. Разницу между общим усилием и усилием, вкладываемым в основную деятельность, Д. Канеман называет запасной мощностью. Принципиально важным является следующий факт, установленный Д. Канеманом: при увеличении усилия, расходуемого на выполнение основной задачи, запасная мощность уменьшается. Дополнительную (вторичную) задачу испытуемый может решать только за счет запасной мощности. Если первичная задача потребует большего усилия, то запасная мощность



уменьшится, и продуктивность решения вторичной задачи снизится на соответствующую величину и, наоборот, при снижении требований основной задачи продуктивность выполнения дополнительной задачи возрастет. Следовательно, изменение продуктивности решения вторичной задачи отражает изменение степени умственного усилия, вкладываемого в первичную.

Исходя из вышеприведенных рассуждений, Д. Канеман разработал методику эксперимента, в которой перед испытуемым одновременно ставилось две задачи: основная (заключающаяся в запоминании последовательности из четырех цифр и воспроизведении последовательности цифр, каждая из которых отличалась от услышанной ранее на одну единицу) и дополнительная (называние целевой буквы, предъявляемой в ряду зрительного шума, параллельно с предъявлением цифр).

Согласно теории ограниченного умственного усилия, скорость и точность ответа на зонд, вводимый в непредсказуемые моменты решения основной задачи, служат показателями запасной мощности, подводимой к структурам вторичной задачи.

Данная теория, сумевшая доказать, что параллельная переработка одновременных входов возможна и нашедшая объяснение этому, изменившая представления о внимании в научном сообществе, на наш взгляд, будет полезна и при решении вопроса об утомлении. Как нам представляется, общий запас усилия в состоянии утомления будет снижен по сравнению с состоянием работоспособности, поскольку изменится сам энергетический статус субъекта. Опираясь на выводы теории Д. Канемана, можно заключить, что в большей степени от такого снижения пострадает запасная мощность, а не усилие, вкладываемое в основную задачу. А значит, в качестве методики для оценки утомления может быть применена методика самого Д. Канемана, поскольку она отражает изменения усилий, вкладываемых и в основную задачу, и в дополнительную в разные моменты времени, что и будет представлять для нас научный интерес. Таким образом, если в состоянии утомления у субъекта значительно снизится качество выполнения дополнительной задачи (решение которой осуществляется за счет ресурсов запасной мощности) по сравнению с решением испытуемым эквивалентной задачи в состоянии работоспособности, мы сможем заключить, что подобный тест пригоден для оценки утомления.

#### **4.2.7. Применение представлений Шнейдера и Шиффрина об управляемой и автоматической обработке информации для оценки утомления оператора**

Р. Шнейдер и У. Шиффрин разработали модель обработки информации человеком на основе модели Аткинсона и Шиффрина, в которой управление и внимание рассматривались как неразрывное целое [108,130].

Эти авторы изначально разрабатывали теорию внимания, но результаты, которые они получили в своем исследовании, удалось распространить на процессы обработки информации в целом. Они провели обширное исследование процессов решения задачи зрительного поиска. Принципиальное отличие исследований этих авторов заключалось в том, что их испытуемые занимались задачей зрительного поиска в течение сотен и тысяч проб. Авторы интересовали обстоятельства перехода от последовательного к параллельному поиску. Именно такие экспериментальные условия позволили им получить новые закономерности переработки информации.

При объяснении полученных в эксперименте результатов Р. Шиффрин и У. Шнейдер опирались на представления о различении автоматических и контролируемых процессов переработки информации. Они пришли к заключению, что в задачах с изменяющимися условиями разворачивались процессы контролируемого, требующего усилия внимания и самозаканчивающегося последовательного поиска. В задачах, отличающихся большим постоянством условий, общая картина результатов складывалась в пользу представлений о параллельном, исчерпывающем и автоматическом поиске [40,130].

Кроме того, авторы выдвинули предположение о том, что в более постоянных условиях происходит постепенная автоматизация поиска.

На основе дополнительных проб им удалось сделать следующий вывод: основной эффект научения в относительно постоянных условиях заключается не в увеличении способности различения элементов материала, а в постепенной автоматизации процесса селекции, то есть в переходе контролируемого внимания в автоматическое.

Авторы подчеркивают, что процесс автоматической селекции возможен только после длительной практики в условиях постоянного согласования определенных целей с определенными ответами. Если же такое согласование не обеспечивается, разворачивается процесс управляемого поиска.

Основные принципы данной теории подтверждаются и результатами экспериментальных работ, проведенных ранее. Так, данные, представленные Сэмюэлем и Ресслером, показали, что внимание опосредует восприятие речи, что соответствует теории Шиффрина и Шнейдера. Сэмюэль и Ресслер полагали, что слушатель осознает события на лексическом уровне, то есть в виде значений произносимых слов, но может направлять внимание и на фонематический уровень, то есть на уровень звучания речи [108].

Объясняя феномен внимания, ЛаБерже и Сэмюэль в своих работах также опираются на концепцию распределения внимания и на концепцию автоматической обработки. Они предполагают, что хорошо освоенные действия становятся автоматическими и, следовательно, на их выполнение требуется меньше внимания, чем на новые или недостаточно освоенные действия [148].

Таким образом, теорию Р. Шиффрина и У. Шнейдера можно назвать «двухпроцессной» (именно под таким названием она часто встречается в литературе), поскольку в ней постулируется как автоматическая, так и управляемая обработка информации. Автоматическая обработка означает активацию элементов памяти, инициируемую самим стимулом и продолжающуюся под контролем субъекта. Управляемая обработка требует внимания субъекта, поэтому в одно и то же время можно управлять без интерференции только одной последовательностью операций в памяти.

В целом теория Р. Шиффрина и У. Шнейдера способствовала разработке нового направления в исследованиях — уровнево-деятельностному подходу, основным предметом теоретических дискуссий и эмпирических исследований в котором стало различение автоматических и контролируемых процессов. Охарактеризовать данные процессы можно следующим образом. Контролируемые процессы требуют усилия, подвержены интерференции, более осознаваемы, изменчивы и, главное, подчинены прямому контролю субъекта. Автоматические процессы, напротив, происходят параллельно, нечувствительны к интерференции, обладают постоянными характеристиками, не изменяются при длительной тренировке, менее вариабельны, требуют меньше когнитивных ресурсов или внимания, их трудно прервать, если они уже начались, способны переработать большее количество информации. Автоматические процессы являются более устойчивыми к таким факторам, как: алкоголь, утомление, стресс, бессонница. Так, качество выполнения задания с опорой на автоматические процессы снижается в меньшей степени, чем с опорой на контролируе-

мые процессы [40, 166]. Отмечается еще и тот факт, что контролируемые процессы — медленные, а автоматические — быстрые.

Дж. Мандлер автоматические процессы разделяет еще на два класса. К первому классу относятся те процессы, которые разворачиваются благодаря функционированию врожденных, или запрограммированных, структур. Результаты и ход таких процессов если и осознаются, то в незначительной степени и с большим трудом. Автоматические процессы второго класса изначально осознаваемы и контролируемы, но благодаря длительной тренировке или научению становятся бессознательными и автоматическими. В отличие от автоматической переработки первого вида они могут быть легко перенесены в план сознательной регуляции, а значит, и переделаны в соответствии с конкретной целью и ситуацией.

В настоящее время появляются и новые модели автоматических и контролируемых процессов, например модели, развивающиеся в рамках компьютерного подхода (ACT-R, CAPS, SOAR), которые применяются для описания когнитивной работы над широким рядом заданий, которые могут выполняться автоматически. Недавно разработана и частная модель CAP2 Шнейдера и Детвилера, которая применяется для оценки роли контролируемых процессов в рабочей памяти.

Данная модель организована на нескольких уровнях: микроуровень (представлен отдельными элементами, блоками), макроуровень (представлен совокупностью корковых связей) и процессуальный уровень (представлен исполнительными функциями).

Что касается утомления, то в ряде исследований было показано, что ответы утомленных испытуемых в большей степени управляются автоматическими когнитивными процессами. Более того, результаты показали, что сложности в выполнении заданий утомленными испытуемыми объясняются трудностями поддержания достаточного уровня исполнительного контроля в течение задания [154]. Поэтому мы сочли возможным применение ряда положений данной теории для исследования проблемы утомления. На наш взгляд, можно задать для испытуемых такую задачу, полностью сформированного навыка для решения которой у них нет, следовательно, экспериментальные условия будут обращаться к контролируемым процессам. В то же время в состоянии утомления протекание контролируемых процессов затруднено. Поэтому можно предположить снижение продуктивности деятельности испытуемых при решении соответствующих задач в состоянии утомления по сравнению с состоянием работоспособности. Подробнее методика будет описана в следующей главе.

### 4.3. Принципы построения методик диагностики состояния оператора

Прогностическая ценность методик определения состояния оператора в большой мере зависит от совершенства общих принципов, на которых строятся эти методики. Поэтому, разрабатывая методики для определения состояния оператора и аппаратуру для автоматизированной диагностики, прежде всего необходимо сформулировать основные принципы построения методик.

Работа по созданию и применению тестовых методик, проводившаяся как в Советском Союзе, так и за рубежом позволила сформулировать ряд принципиальных положений, относящихся к определению их надежности и прогностической ценности. Некоторые из этих положений с успехом могут быть использованы при разработке методик прогнозирования возможности выполнения оператором возложенных на него задач. Приведем эти принципы и кратко охарактеризуем их.

1. Принцип системности (указывает на необходимость рассмотрения состояния как функциональной системы, определяемой в каждый момент как состояние различных подсистем, обеспечивающих реализацию данной деятельности).

2. Принцип комплексности (провозглашает необходимость разработки психодиагностического комплекса, включающего регистрацию показателей разного уровня анализа: психологического, психофизиологического, деятельностного).

3. Принцип деятельностной отнесенности, или включенности (указывает на включение в диагностический комплекс в качестве определяющих параметров показателей деятельности).

4. Принцип динамичности, или динамического анализа (указывает на необходимость контроля наличия детерминант исследуемых состояний, моментов их проявления на разных уровнях и последствий в развитии состояний).

5. Принцип целостности (означает, что психодиагностика функциональных состояний не должна нарушать целостности выполняемой человеком деятельности, особенно в реальных условиях, не прерывать ее, не переключать человека на другую деятельность, что может в реальных условиях вызвать ошибки и даже срыв деятельности).

6. Принцип объективности (предполагает, что психодиагностика функциональных состояний не должна зависеть от квалификации экспериментатора или эксперта и должна иметь однозначную интерпретацию, быть статистически достоверной).

7. Принцип достоверности (является существенным для ситуаций, когда высока цена ошибки человека, когда оценки готовности человека к деятельности должна быть проверена в очень короткие сроки, в реальном режиме времени).

8. Принцип прогностичности (данный принцип отражает необходимость предвидения качественных и количественных сдвигов в состоянии работоспособности человека, опираясь на результаты проведенной психодиагностики текущего наличного состояния).

9. Принцип выделения системообразующего фактора исследуемого континуума состояний (позволяет направленно создавать психодиагностический комплекс).

10. Принцип валидности (предполагает выделение области применения психодиагностической процедуры, разработку индивидуальных норм для различных групп) [30,77,93].

#### **4.4. Способности и профессиональная пригодность оператора**

В работах ведущих отечественных психологов [71, 86, 95] профессиональные способности трактуются как определенная совокупность, структурно изменяющихся, но все же достаточно стойких индивидуально-психологических особенностей личности, определяющих качество трудовой деятельности. К. К. Платонов справедливо настаивает на необходимости исходить при оценке профессиональных способностей из целостного представления об индивидуальной структуре личности. Причем прогноз деятельности оператора должен производиться путем сопоставления структуры личности с требованиями, предъявляемыми деятельностью. Отсюда вытекает, что необходим анализ трудовой деятельности оператора.

При осуществлении такого анализа следует исходить из концепции А. Н. Леонтьева, раскрывающей общую психологическую структуру трудовой деятельности человека. Согласно этой концепции всякая трудовая деятельность всегда характеризуется направленностью на достижение определенной цели труда. Вместе с тем психологический анализ процесса труда позволяет выделить «отдельные деятельности», или звенья, которые обеспечивают достижение частных, промежуточных целей труда. «Этим термином мы обозначаем сложную совокупность процессов, объединенных одной общей направленностью на достижение определенных результатов» [64].

Ориентация на промежуточные цели труда (отдельные задачи, выполняемые оператором) позволяет установить содержание и условия осуществления соответствующих деятельности, каждая из которых есть обязательный компонент общей структуры данной трудовой деятельности. Содержанием отдельного компонента структуры труда является определенная совокупность умственных и практических действий, характеризующихся своей направленностью на достижение промежуточных целей труда.

Знание целей и психологической структуры конкретной профессиональной деятельности позволяет создать комплекс методик, направленный на выявление не изолированно взятой психической функции, а всего комплекса способностей, необходимых для успешного выполнения оператором отдельных структурных компонент данной деятельности. Основываясь на изложенном, можно сформулировать главную задачу определения способности оператора к выполнению производственного задания как установление степени соответствия структуры способностей и личных качеств оператора структуре трудовой деятельности. Так, например, для оценки способностей к целенаправленному слежению следует предусмотреть такую совокупность методик, которая обеспечила бы оценку внимания, памяти и восприятия оператора, взятых по отношению к соответствующей частной цели этой деятельности.

Методика определения возможности выполнения оператором того или иного задания будет успешной только при условии выбора эффективного критерия. В теоретических и экспериментальных исследованиях Г. С. Костюка, А. Н. Леонтьева, Б. М. Теплова, С. Л. Рубинштейна, А. Г. Ковалева, К. К. Платонова и других ученых показано, что способность является синтетическим свойством личности, определяющим продуктивность, качество выполнения данного вида деятельности, и что всякая способность проявляется в деятельности. «Профессиональная способность, — пишет К. К. Платонов, — это совокупность (структура) достаточно стойких, хотя, конечно, изменяющихся под влиянием воспитания, индивидуально-психологических качеств человека, которая на основе компенсации одних свойств личности другими определяет успешность обучения определенной трудовой деятельности, выполнение ее и совершенствования в ней» [86, с. 59].

Общее заключение о способностях оператора, о степени его профессиональной пригодности может быть сделано на основе учета результатов испытаний по такому комплексу методик, который бы

обеспечил возможность комплексной оценки его профессиональных качеств, умений.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования этой проблемы, осуществленные Е. И. Бойко, Д. Н. Левитовым, А. С. Смирновым, А. Г. Ковалевым, В. Н. Мясищевым, Н. А. Менчинской, Е. А. Милеряном и др., показали, что умение представляет собой основанную на знаниях и навыках способность человека достигать поставленной цели труда при изменяющихся условиях. Умение, навыки — это, в сущности, поведение, организованное таким образом, что оператор достигает своей цели даже при сложных изменениях среды либо при изменениях физических компонентов его задачи. Квалифицированная деятельность «фиксирована» относительно целей, но отличается гибкостью по отношению к деталям своей структуры в том смысле, что цели могут быть достигнуты посредством ряда различных стратегий. Можно сказать, что умения — реализованные способности.

В монографии Г. А. Ковалева и В. Н. Мясищева [55], посвященной проблеме способностей, показано, что умение человека достигать поставленной перед ним цели является наиболее надежным объективным показателем его способностей. Как показали исследования Е. А. Милеряна, каждое умение характеризуется качеством, разносторонностью и скоростью функционирования [78]. При этом под качеством умения подразумевается безошибочность, точность и адекватность выполнения соответствующих действий, направленных на достижение заранее поставленных целей. Разносторонность умения определяется числом различных способов и приемов решения поставленной задачи, которыми владеет данный индивидуум. Скорость функционирования умения измеряется отрезком времени, затрачиваемого на достижение поставленной цели.

Таким образом, обнаруживается возможность качественной и количественной оценки способностей оператора по сохранению им навыка на основе учета качества, разносторонности и скорости функционирования последнего. Центральное место в проблеме способностей занимает вопрос о их происхождении. Одна из влиятельных теорий утверждает, что способности человека полностью предопределены наследственностью, они запрограммированы от рождения, заложены в геноме человека. Согласно другой точке зрения способности полностью определяются условиями жизни человека. Обе эти точки зрения — крайние. Психологические исследования показывают, что способности человека формируются и развиваются в процессе жизни.



Но формируются они не с «чистого листа». Природной предпосылкой способностей являются задатки, т. е. некоторые прирожденные особенности. Связь между способностями и задатками не является жесткой и однозначной. На основе сходных задатков могут развиваться различные способности, и наоборот, на основе различных задатков могут развиваться сходные способности.

#### 4.5. Когнитивные стили и способности

Наряду с понятием «способность» в последние десятилетия прошлого века в рамках исследований, в которых на первый план вышли индивидуальные различия в восприятии анализа категоризации и воспроизведения информации, появился термин «когнитивный стиль». В современной когнитивной психологии понятию «когнитивный стиль», его параметрам уделяется большое внимание [23,115,116]. Когнитивные стили рассматриваются как индивидуально-своеобразные способы переработки информации, принципиально отличающиеся от индивидуальных различий в успешности интеллектуальной деятельности.

До недавнего времени в рамках стилевого подхода существовало противопоставление стилевых и продуктивных характеристик интеллектуальной деятельности, что нашло отражение в критериях противопоставления понятия «стиль», понятию «способность», сформулированных Witkin [167]. В них отмечалось:

- стиль — это устойчивая характеристика личности. Способность изменчива во времени;

- стиль — биполярное измерение, в рамках которого каждый когнитивный стиль описывается за счет обращения к двум крайним формам интеллектуального поведения на основе использования медианного критерия. Способность — униполярное измерение;

- к стилевым феноменам не применимы оценочные суждения, поскольку оба полюса каждого стиля в равной мере способствуют эффективности индивидуального поведения. Способности имеют ценностный контекст;

- стиль проявляется генерализованно в различных психических сферах. Способность специфична по отношению к определенной деятельности [115].

Однако исследования последнего времени [116,121] свидетельствуют о мобильности когнитивных стилей, которые могут изменяться под влиянием интеллектуальной нагрузки, обучения, мотивации.

Стилевые качества не являются полностью генерализованными, они зависят от содержательной сферы, вида профессиональной деятельности. Иными словами, противопоставление стилей и способностей выглядит не столь очевидным, как отмечалось в [115].

Чтобы иметь четкую картину о многообразии когнитивных стилей, воспользуемся матричным представлением типологии этих стилей, предложенной Nosal [23], которое после внесения нами существенного дополнения, учитывающего соотношение в структуре каждого стиля когнитивных и аффективных компонентов, фактически преобразует двухмерную матрицу Nosal в трехмерную, более полно и точно характеризующую известные когнитивные стили. На рис. 4.1 трехмерность создается за счет того, что различные соотношения когнитивных и аффективных компонентов обозначаются разными геометрическими фигурами: треугольником, кругом, квадратом.

Перцепция, понятия, модели, программы — это уровни переработки информации. Перцепция — это уровень создания репрезентации окружающей действительности в форме кратковременных перцептивных образов; концепция (понятия) — это уровень создания понятийных репрезентаций; модели — это уровень структур индивидуального опыта; программа — это уровень регуляции целенаправленного поведения. Структура поля, сканирование, шкалы эквивалентности, характер контроля — это способы организации информации. Структура поля — это мера артикулированности познавательных процессов; сканирование отражает особенности распределения внимания; шкалы эквивалентности подразумевают ориентацию на различие или сходство элементов опыта; характер контроля указывает на способность к регуляции собственной активности. Экспериментальное исследование по определению индивидуальных различий в стилевом подходе осуществляется не на основе метода решения задач, а на создании достаточно простых ситуаций без каких-либо временных ограничений.

При этом дается инструкция открытого типа, согласно которой испытуемый выбирает присущий ему, удобный и естественный вариант ответа. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение взаимосвязи когнитивных стилей с профессиональной деятельностью, которая предъявляет все возрастающие требования к психологическим качествам человека, в частности к мотивации профессиональной деятельности, а это, конечно, следует учитывать при создании модели когнитивного стиля современного специалиста, в том числе на железнодорожном транспорте, при взаимодействии его с новыми информационными технологиями.

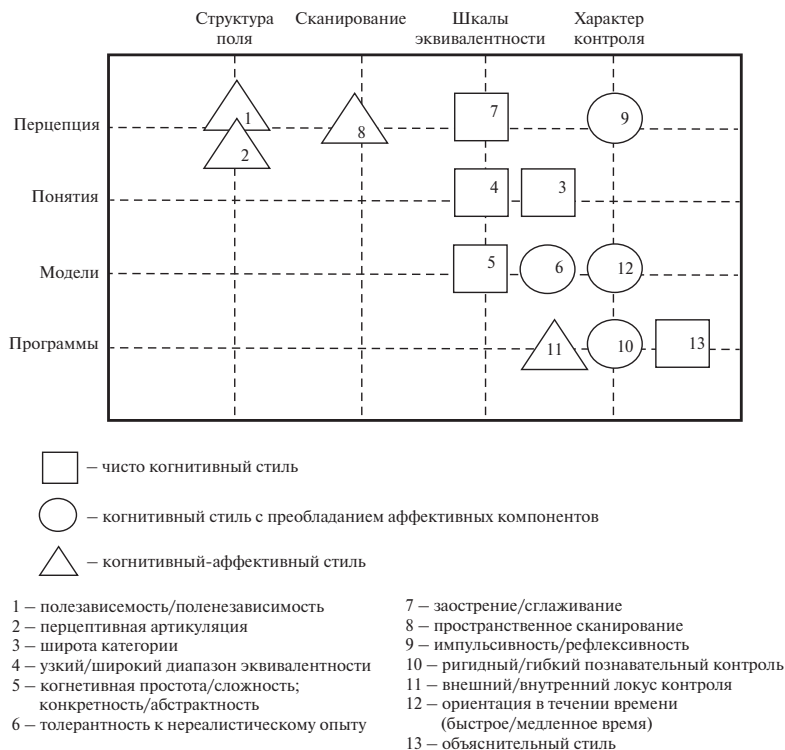


Рис. 4.1. Трехмерная матрица когнитивных стилей

Для полноценного результата профессиональной деятельности необходима разработка стратегии и тактики в формировании эффективной системы мотивации, нового профессионального мировоззрения современного специалиста на основе учета психологических особенностей процессов переработки информации — когнитивных стилей.

В этой связи необходимо руководствоваться следующими соображениями относительно психологического статуса стилевых свойств, высказанных М. А. Холодной [116].

Во-первых, стилевые различия проявляются в характеристиках ментальных репрезентаций происходящего: развернутости границ ментального образа ситуации (референтами являются такие когнитивные стили, как импульсивность — рефлексивность, экстенсивность сканирования); степени его проницаемости (толерантность

к нереалистическому опыту); артикулированности этого ментального образа (полезависимость — полenezависимость); разведенности в нем разнообобщенных категориальных уровней (диапазон эквивалентности, широта категории конкретная — абстрактная концептуализация, когнитивная простота — сложность).

Во-вторых, стилевые различия свидетельствуют о сформированности механизмов непроизвольного интеллектуального контроля, проявляющегося в двух основных формах: контроле процессов переработки информации (в виде средств организации базовых процессов познавательного отражения), контроле моторной и аффективной активности (в виде средств сдерживания импульсивного поведения).

Рассмотрев понятие утомления, а также подходы и методы его исследования, как уже существующие, так и те, что мы предлагаем в рамках данной работы, мы можем перейти к экспериментальной проверке выдвинутых нами гипотез и подведению итогов.

## **Глава 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА**

---

### **5.1. Описание методик и процедур проведения экспериментов**

Экспериментальные исследования проводились в течение полутора лет. В них приняли участие инженеры электросвязи и системные администраторы ООО «Компания «Эрланг» (40 человек), дополнительно в эксперименте были задействованы 7 испытуемых, многократно проходившие все серии эксперимента, результаты по которым обобщались для каждого испытуемого в отдельности. Эксперименты проводились магистранткой Н. Быковой под нашим руководством.

Эксперимент проводился в два этапа. На первом этапе были проведены предварительные серии эксперимента по всем представленным в данной работе методикам на большой группе испытуемых (100 человек: 60 школьников и 40 инженеров электросвязи). Необходимость проведения предварительной серии обусловлена недостатком систематических исследований влияния утомления на процесс понимания и на ряд характеристик внимания, на которые и направлены методики. Кроме того, данный этап работы необходим для проверки самого факта изменения правильности решения различных задач в зависимости от степени выраженности состояния утомления, развивающегося в течение учебного или рабочего дня. Также к числу задач этого этапа исследования можно отнести доказательство приемлемости для данных испытуемых экспериментальных задач, стоящих перед ними, и сопоставление чувствительности различных методик к действию утомления.

На втором этапе были проведены основные серии эксперимента, на котором принимало участие только семь испытуемых, поскольку в исследовании В. П. Зинченко было показано, а в нашем исследовании (на этапе предварительных серий) было найдено подтверждение того, что оценка утомляемости затруднена в случае существования значительных индивидуальных различий и усреднения данных по большой группе испытуемых. Также известно, что нежелательными

факторами являются возрастные особенности испытуемых, их недостаточная обученность. Поэтому на втором этапе эксперимента приняло участие небольшое количество испытуемых, каждый из которых многократно проходил тестирование. Такой подход позволяет оценить эффективность работы отдельного человека под влиянием нагрузок разной интенсивности. Подробнее ход работы будет описан ниже.

На каждом этапе работа начиналась с выполнения ряда тренировочных серий, результаты которых из общего анализа исключались, но использовались для определения или уточнения оптимальных экспериментальных условий, также эти серии были нужны для настройки испытуемых на работу, разъяснения инструкции.

И на первом, и на втором этапе эксперимента каждый испытуемый проходил тестирование по следующим методикам. Теоретическое обоснование применения этих методик было дано в 4-й главе.

*Опросник САН.* Данный тест предназначен для оперативной оценки самочувствия, активности и настроения и традиционно входит в батарею методик при исследовании проблемы утомления. Данный опросник применялся нами для выяснения субъективной оценки испытуемых собственного функционального состояния с возможностью последующего сравнения данной оценки с результатами выполнения этими испытуемыми экспериментальных проб.

*Тест «Локатор».* Процедура проведения тестирования

На короткое время на экране компьютера испытуемому может быть предъявлена цель. Целью является пиктограмма самолета, образец которого постоянно присутствует в правом углу экрана. Цель появляется на экране с определенной вероятностью, устанавливаемой экспериментатором, либо экспериментатор может установить вариант со случайным появлением цели. В качестве помех выступают геометрические фигуры разной формы, близкие по размеру и цвету к параметрам цели, что усложняет задачу для испытуемых и приближает ее к задачам, которые стоят перед ними в реальной жизни (человек всегда функционирует в условиях внутреннего и внешнего шума). В тесте могут варьироваться следующие параметры: яркость помех, время экспозиции, размер цели, оттенок экрана, вероятность появления цели, количество предъявлений в серии. В нашем эксперименте варьировались яркость помех (1–9) и время экспозиции

(30–130 мс). Количество предъявлений в серии и размер цели были постоянными. Так, в каждой серии было 10 предъявлений, а размер цели был выбран наименьший из представленных в программе. Вероятность появления цели не устанавливалась, следовательно, появление цели в серии было случайным и могло варьироваться в диапазоне от нуля до десяти предъявлений. Это было сделано для того, чтобы испытуемые ориентировались лишь на свое восприятие и не включали в работу процессы анализа. Иными словами, создавались условия для максимального обращения к уровню сенсорной обработки и минимального обращения к уровню мыслительной переработки, а именно для этого и применялась в исследовании данная методика. Оттенок экрана также был постоянным условием и не варьировался в эксперименте, поскольку в ходе тренировочных серий было замечено, что для большинства испытуемых это условие неоправданно сильно усложняет задачу, в результате чего чувствительность методики снижается, а у ряда испытуемых вызывает непреодолимые затруднения. Таким образом, были выделены оптимальные для целей данного исследования экспериментальные условия. Особенности экспериментальных условий данного теста определили количество проб, выполняемых за один экспериментальный день по тесту «Локатор»: 12 проб по 10 предъявлений в каждой. В среднем работа занимала 15 минут.

Задачей испытуемого является ответ на вопрос: «Появлялась ли цель на экране?» — после каждого предъявления. Ответ «Да» совершается клавишей пробела или левой кнопкой мыши, ответом «Нет» считается отсутствие реакции испытуемого. В качестве правильного ответа рассматриваются правильные обнаружения цели (цель действительно была предъявлена) и правильные необнаружения (цель действительно не предъявлялась). В качестве неправильного ответа рассматриваются ложные тревоги (цель не предъявлялась, а испытуемый посчитал, что она была и ответил «Да» — нажал на кнопку) и ложные необнаружения (цель предъявлялась, а испытуемый ее не зафиксировал).

#### *Применение пропозициональной схемы П. В. Торндайка для оценки ментального утомления*

Как отмечалось в 4-й главе, нами применена схема П. В. Торндайка к оценке понимания текста испытуемым и создана математическая модель количественной оценки понимания [24].

Процедура проведения тестирования. В рамках данного теста испытуемому предъявляется короткий повествовательный текст,

который тот должен был внимательно прочитать, запомнить и затем воспроизвести как можно точнее. Сам текст был составлен в соответствии со схемой рассказа, который анализировал П. В. Торндайк (у него в исследовании это был рассказ «Остров Круга», текст которого приводится в [108] и включал в себя 34 пропозиции (в эксперименте использовался целый ряд подобных текстов. Правильно воспроизведенной пропозиция считалась в случае, если она верно передавала содержание и не вносила искажений в текст. В течение одного экспериментально дня испытуемый получал возможность работать с одним повествовательным текстом. В среднем эта работа занимала у испытуемых 15–20 минут. Тест направлен на выявление изменений в уровне понимания повествовательных текстов, возникающих под влиянием умственного утомления.

### *Тест Д. Канемана*

Опираясь на выводы теории Д. Канемана, можно заключить, что в большей степени от такого снижения пострадает запасная мощность, а не усилие, вкладываемое в основную задачу. Нами была выдвинута идея о том, что в качестве методики для оценки утомления может быть применена методика самого Д. Канемана, поскольку она отражает изменения усилий, вкладываемых и в основную задачу, и в дополнительную в разные моменты времени, что и будет представлять для нас научный и практический интерес. Таким образом, если в состоянии утомления у субъекта значительно снизится качество выполнения дополнительной задачи (решение которой осуществляется за счет ресурсов запасной мощности) по сравнению с решением испытуемым эквивалентной задачи в состоянии работоспособности, мы сможем заключить, что подобный тест пригоден для оценки утомления.

*Процедура проведения тестирования.* При работе над тестом задействуются и зрительный, и слуховой каналы: на экране предьявляется зрительный шум — разнообразные буквы, а также стимульная буква; через динамики предьявляются стимульные цифры. Таким образом, данный тест предполагает одновременное выполнение двух заданий: основной и дополнительной. В качестве основной задачи выступает запоминание ряда стимульных цифр (4 цифры в ряду) с последующим воспроизведением ряда, состоящего из цифр, каждая из которых на единицу превышает стимульную цифру. В качестве дополнительной задачи выступает обнаружение стимульной буквы (стимульной буквой считается та, которая появляется между двумя знаками «ре-



шетка», например, # А #, следовательно, А — стимульная буква) и последующее ее воспроизведение. Задача испытуемого состоит в том, чтобы как можно точнее воспроизвести ряд цифр и стимульную букву — все они записываются в один ряд после звукового сигнала. Фиксируется число правильных ответов по буквам и число правильных ответов по цифрам. Всего за один экспериментальный день испытуемый выполняет 60 проб в рамках данного теста. В среднем работа над тестом занимала 30–40 минут. Тест направлен на выявление характера изменений процессов внимания и памяти, возникающих в состоянии умственного утомления.

## 5.2. Обсуждение полученных результатов

Инженеры электросвязи и системные администраторы проходили тестирование по всем представленным в данной работе методикам три раза: в начале рабочего дня, в середине рабочего дня и в конце рабочего дня (тестирование производилось в разные рабочие дни). Таким образом, тестирование испытуемых осуществлялось в следующих состояниях: состояние работоспособности, состояние умеренного утомления и состояние выраженного утомления. Полученные результаты представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Зависимость результатов выполнения четырех методик от функционального состояния испытуемых (инженеры электросвязи и системные администраторы)

Тест	Определение нормальности распределения	Показатель	Значимость	Вывод
Тест «Локатор»	As = 0,8; Ex = 0,85 при As крит. = 0,87 и Ex крит. = 0,87 распределение нормальное	Критерий F Фишера = 3	-	Различия статистически не достоверны
Тест Д. Канемана (фиксация стимульной буквы)	As = 0,86; Ex = 0,84 при As крит. = 0,87 и Ex крит. = 0,87 распределение нормальное	Критерий F Фишера = 4,4	P < 0,05	Различия статистически достоверны

Тест	Определение нормальности распределения	Показатель	Значимость	Вывод
Тест Д. Канемана (воспроизведение ряда стимульных цифр)	As = 0,81; Ex = -1,9 при As крит. = 0,87 и Ex крит. = 0,87 распределение отличается от нормального	Критерий Фридмана = 0,2	-	Различия статистически не достоверны
Применение пропозициональной схемы П. В. Торндайка	As = 0,5; Ex = 0,85 при As крит. = 0,87 и Ex крит. = 0,87 распределение нормальное	Критерий F Фишера = 5,2	P < 0,01	Различия статистически достоверны

Результаты по тесту САН соответствуют результатам по тесту Д. Канемана (по дополнительной задаче – фиксация стимульной буквы), а также результатам по тесту, в основе которого лежит пропозициональная схема П. В. Торндайка. То есть объективные показатели по данным методикам соответствуют субъективному показателю (чувство усталости).

Влияние утомления на сенсорную обработку поступающей информации и в этот раз оказалось незначительным, в отличие от системы когнитивной переработки информации, влияние на которую оказалось выраженным. Рассмотрим это подробнее.

Результаты по тесту «Локатор» также являются стабильными для большинства испытуемых и существенно не изменяются под воздействием умственного утомления. Таким образом, исследование и с участием группы инженеров электросвязи и системных администраторов подтвердило нашу первую гипотезу.

Результаты по тесту Д. Канемана в группе инженеров: успешность выполнения дополнительной задачи в состоянии утомления падала по сравнению с состоянием работоспособности, а успешность выполнения основной задачи изменялась незначительно. В состоянии утомления протекание процессов распределения и переключения внимания затруднялось, а также снижался объем запоминаемой информации.

Результаты, полученные в группе инженеров электросвязи по тесту, основанному на применении пропозициональной схемы анализа повествовательных текстов П. В. Торндайка, аналогичны результатам

по данному тесту, полученным нами ранее с группой школьников: были зафиксированы значимые различия в понимании текстов в состоянии работоспособности и в состоянии утомления.

Результаты второго этапа исследования (основные серии эксперимента)

После того как были проведены предварительные серии эксперимента, мы приступили к основным сериям эксперимента, в которых приняло участие семь человек. Каждый из испытуемых проходил тестирование по всем методикам в индивидуальной форме. Выше мы уже отмечали причины, по которым целесообразно проводить основные серии эксперимента с участием небольшой группы испытуемых: индивидуальные особенности испытуемых, различная степень их обученности, возрастные различия могут вносить искажение в получаемые результаты, а также усложнять их интерпретацию.

Кроме того, выяснилось, что по многим тестовым заданиям результаты испытуемых представлены в широком диапазоне. Так, размах вариации получаемых по ряду методик показателей оказался большим: по тесту «Локатор» — 38 %, по основной задаче теста Д. Канемана (запоминание ряда цифр) — 33,7 %; по дополнительной задаче теста Д. Канемана (фиксация стимульной буквы) — 34,7 % у инженеров. Поэтому с целью уточнения полученных данных на втором этапе исследования была задействована небольшая группа испытуемых, но каждый из них проходил многократное тестирование по всем представляемым в данной работе методикам. Таким образом формировалась «индивидуальная статистика» по каждому из испытуемых.

Каждый испытуемый проходил тестирование по всем методикам 18 раз (по 6 раз в каждом из функциональных состояний). Также все испытуемые проходили через обучающие серии, в рамках которых знакомились с предлагаемыми заданиями, уточняли инструкцию. Полученные результаты представлены в таблицах.

В табл. 5.2 показаны результаты каждого испытуемого по тесту «Локатор». Различия в показателях по данной методике, получаемых испытуемыми в состоянии работоспособности, в состоянии умеренного и выраженного утомления, оценивались с помощью коэффициента Фридмана (использовался непараметрический критерий, так как распределение отличается от нормального).

Как видно из таблицы, только у одного испытуемого из семи различия в успешности выполнения теста «Локатор» являются статистически достоверными, у всех остальных испытуемых различия статистически не достоверны. Исходя из данных результатов, можно

заключить, что влияние повседневного умственного утомления на сенсорный анализатор является незначительным. Можно предположить, что значительным влияние утомления может стать в случае существования патологических изменений сенсорного анализатора либо в случае превышения объема умственной нагрузки (выше среднего уровня, с которым человек обычно имеет дело в повседневной жизни).

Таблица 5.2

Зависимость правильных ответов от утомления (тест «Локатор»)

Испытуемые	Коэффициент Фридмана	Уровень статистической значимости	Вывод
Е. О. П.	7,9	$< 0,05$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,05$
В. М. Ю.	1,78	$-< 0,05$	Различия статистически не достоверны
С. Ю. И.	2,8	$-< 0,05$	Различия статистически не достоверны
Н. О. В.	2,8	$-< 0,05$	Различия статистически не достоверны
П. П. В.	1,78	$-< 0,05$	Различия статистически не достоверны
П. А. Н.	1,78	$-< 0,05$	Различия статистически не достоверны
П. М. В.	2,8	$-< 0,05$	Различия статистически не достоверны

В табл. 5.3 и 5.4 представлены результаты каждого испытуемого по тесту Д. Канемана (табл. 5.3 — результаты, полученные при решении дополнительной задачи теста: фиксация стимульной буквы, табл. 5.4 — результаты, полученные при решении основной задачи теста: воспроизведение ряда стимульных цифр). Оценка различий в показателях по данному тесту, полученных в разных функциональных состояниях также осуществлялась с помощью коэффициента Фридмана.

Исходя из полученных результатов, видно, что только для одного испытуемого из семи различия в успешности выполнения дополнительного задания теста Д. Канемана являются статистически не

достоверными, для всех остальных — они достоверны, так как в состоянии утомления (умеренного или выраженного) эти испытуемые справляются с задачей гораздо хуже, чем в состоянии работоспособности. Тот испытуемый, чьи результаты в разных функциональных состояниях статистически не отличаются друг от друга выполнял задание во всех состояниях очень эффективно. Возможно, такой результат объясняется индивидуальными особенностями этого испытуемого, например высоким уровнем развития переключения и распределения внимания.

*Таблица 5.3*

Зависимость правильных ответов от утомления  
(тест Д. Канемана — обнаружение стимульной буквы)

Испытуемые	Коэффициент Фридмана	Уровень статистической значимости	Вывод
Е. О. П.	13,7	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
В. М. Ю.	8,58	$< 0,05$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,05$
С. Ю. И.	4,5	-	Различия статистически не достоверны
Н. О. В.	10,96	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
П. П. В.	10,96	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
П. А. Н.	10,96	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
П. М. В.	11,98	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$

Таблица 5.4.

Зависимость правильных ответов от утомления  
(тест Д. Канемана — воспроизведение ряда цифр)

Испытуемые	Коэффициент Фридмана	Уровень статистической значимости	Вывод
Е. О. П.	1,8	-	Различия статистически не достоверны
В. М. Ю.	1,78	-	Различия статистически не достоверны
С. Ю. И.	1,78	-	Различия статистически не достоверны
Н. О. В.	4,5	-	Различия статистически не достоверны
П. П. В.	2,8	-	Различия статистически не достоверны
П. А. Н.	1,78	-	Различия статистически не достоверны
П. М. В.	4,5	-	Различия статистически не достоверны

Полученные результаты показывают, что испытуемые примерно одинаково выполняют основное задание теста Д. Канемана (запоминание ряда стимульных цифр) в разных функциональных состояниях, причем большинство испытуемых справляется с этим заданием достаточно успешно (доля правильных ответов — 50 % и более).

В табл. 5.5 представлены результаты каждого испытуемого по тесту, основанному на пропозициональной схеме П. В. Торндайка. Для оценки различий показателей, полученных в разных функциональных состояниях, был рассчитан коэффициент Фридмана.

Результаты испытуемых в разных функциональных состояниях статистически достоверно отличаются друг от друга по коэффициенту утомления (в состоянии утомления он оказывается выше, чем в состоянии работоспособности, следовательно, понимание в этом состоянии, наоборот, снижается).

Теперь, когда все результаты были описаны, можно подвести итог: какие из приведенных методик оказались чувствительными по отношению к умственному утомлению, а какие — нет.

Таблица 5.5

Зависимость значения коэффициента утомления  
от функционального состояния (применение пропозициональной схемы  
П. В. Торндайка для оценки понимания текста)

Испытуе- мые	Коэффициент Фридмана	Уровень статисти- ческой значимости	Вывод
Е. О. П.	11,9	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
В. М. Ю.	11,98	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
С. Ю. И.	11,98	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
Н. О. В.	10,96	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
П. П. В.	10,96	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
П. А. Н.	10,96	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$
П. М. В.	9,94	$< 0,01$	Различия достоверны для уровня статистической значимости $p < 0,01$

*Тест «Локатор».* Различия в результатах по тесту «Локатор», проводимому в разных функциональных состояниях для большинства испытуемых, являются статистически не достоверными. Это значит, что под воздействием повседневной учебной или трудовой нагрузки в сенсорной системе обработки информации существенных изменений не наступает, эта важная с биологической точки зрения система в норме продолжает успешно функционировать. Изменения в работе данной системы могут наступать либо в случае существования патологических изменений самой системы, либо вследствие воздействия умственной нагрузки, превышающей повседневный уровень.

*Тест Д. Канемана.* Основная задача данного теста успешно выполняется во всех функциональных состояниях, в отличие от ка-

чества выполнения дополнительной задачи, эффективность решения которой снижается. По-видимому, в состоянии умственного утомления снижается общий «запас мощности» (под этим понятием Д. Канеман подразумевал ресурсы внимания) и для решения дополнительной задачи ресурсов оказывается недостаточно. Поэтому в плане оценки состояния испытуемого более показательными являются результаты по выполнению дополнительной задачи теста, нежели по выполнению основной задачи.

Тест, основанный на применении пропозициональной схемы П. В. Торндайка. Данный тест может служить надежным инструментом для оценки (в том числе и количественной) умственного утомления. Так, практически у всех испытуемых различия по коэффициенту утомления, рассчитываемому на основе результатов, полученных в разных функциональных состояниях, являются статистически достоверными. Также в рамках данного исследования была показана ретестовая надежность данной методики, и она оказалась достаточно высокой.

### **5.3. Моделирование деятельности как процесс обучения**

Как отмечалось во второй главе, при диагностике состояния оператора важным принципом построения интересующих нас методик является принцип моделирования условий профессиональной деятельности. Естественно считать, что для выполнения и определения степени регрессии навыков работы необходимо, чтобы испытания проводились в условиях, моделирующих в какой-то мере условия той деятельности, при осуществлении которой данные навыки должны быть реализованы.

Аппаратурные методики дают возможность реализовать принцип моделирования в ряде случаев значительно успешнее, чем какие бы то ни было бланковые тесты. В настоящее время при реализации принципа моделирования в аппаратурных методиках успешно преодолены те трудности (габариты, вес, размещение, надежность работы аппаратуры и т. д.), которые отмечались исследователями в 70-х годах прошлого столетия.

Использование аналогов открывает широкие возможности не только в схематическом моделировании структуры деятельности оператора. Применение соответствующим образом сконструированной аппаратуры позволяет четко программировать процесс испытаний при



строгом регламентировании его хода. Поэтому аппаратные методики позволяют эффективно реализовать и третий важный принцип построения методик, а именно принцип объективности испытаний.

Из всех рассмотренных методов определения состояния оператора при дежурстве за пультом управления, прежде всего утомления, наиболее приемлемым представляется метод диагностики по результатам работы на аналоге.

Метод диагностики состояния оператора по результатам работы на аналоге предусматривает решение контрольной задачи, основные этапы которого аналогичны этапам оперативного мышления. При этом эти этапы должны органически вытекать из принципа решения.

Ранее нами отмечалось, что содержанием интеллектуальной деятельности оператора при поисках им причин неисправностей в управляемой системе является процесс решения оперативных задач, осуществляемый на основе моделирования человеком окружающей среды и приводящий к формированию модели совокупности действий, обеспечивающих достижение цели. Значит, и оперативная задача, предлагаемая в качестве контрольной, должна содержать процесс создания новой модели окружающей среды. Для наблюдения за процессом построения модели необходимо, чтобы этот процесс отражался в двигательной активности.

При взаимодействии мозга с новой для него средой происходит перестройка его нейронных структур, чтобы реакция организма стала адекватной среде [4]. В процессе приспособления по мере формирования нейронной модели среды изменяется и реакция организма. Этот процесс отчетливо проявляется в процессе обучения.

Общие интегральные характеристики обучения оператора могут быть отображены во времени реакции. Изучению времени реакции посвящено большое число работ в общей и инженерной психологии. Начиная с Хика и Хаймена, многие исследователи считали время реакции основным показателем эффективности действия оператора в системе управления. Изучены зависимости времени реакции от самых различных условий [14], а также многочисленные ограничения законов Хика и Хаймена, обусловленные психикой человека [60, 63]. Не подвергая сомнению значение времени реакции оператора для оценки его работы, следует отметить, что время реакции обученного оператора отражает в большей степени его автоматические моторные навыки, нежели способность решать сложные задачи управления.

В работах Буша и Мостеллера [16, 135], связанных с изучением динамики процесса обучения, отмечается, что при обучении живот-

ных рефлексам в конечном счете имеет место чистое обучение; при обучении человека вероятность выработки навыка, однако, почти никогда не становится равной единице, хотя и приближается к ней. Динамические модели обучения позволяют оценить число шагов, за которые оператор приобретает необходимые навыки. Кроме того, во многих случаях весьма интересной оценкой динамики обучения является скорость обучения.

В качестве обучающих могут использоваться различные последовательности зрительных или слуховых стимулов. Часто создается такая последовательность, в которой появление тех или иных сигналов равновероятно или имеет определенную вероятностную асимметрию [61, 114]. При этом даже после длительного обучения в мозгу оператора возникает лишь вероятностная модель последовательности, хотя и весьма любопытная, но не позволяющая в достаточной степени отделить процесс решения задачи от чисто моторных навыков.

На наш взгляд, как и по мнению автора работы [52], весьма перспективной является методика обучения оператора распознаванию детерминированной последовательности [113, 114, 117]. При этом процесс обучения проявляется в достаточно чистом виде, а после окончания обучения детерминизм среды отображается в структурах мозга. После обучения время реакции в значительной степени отображает лишь моторные действия и практически не связано с решением какой-либо интеллектуальной задачи.

Первое предъявление детерминированной обучающей последовательности любой сложности воспринимается оператором как случайное распределение раздражителей. Оператор пытается запомнить порядок следования каждого элемента, учесть частоту появления различных раздражителей. По мере обучения выявляются закономерные участки, отыскиваются их места в последовательности. В дальнейшем происходит увеличение знакомых участков влево и вправо за счет присоединения новых элементов. Время реакции, отнесенное к одному элементу обучающей последовательности, уменьшается. Уменьшается и время реакции на всю последовательность (на все слово). Обучение заканчивается группировкой отдельных участков и элементов в одну целую последовательность, выработкой модели совокупности действий оператора. Нормализованное время реакции, т. е. время реакции, отнесенное к одному элементу обучающей последовательности, сокращается до определенного минимального значения.

В работе [78] рассматриваются причины, в силу которых возможно создание модели совокупности действия (моторной модели), по

мнению различных авторов, заложены: а) в самой моторике [136]; б) вне двигательного анализатора [14]; в) в области управления двигательными актами [7, 11]. Приведенный Н. А. Бернштейном обширный материал, касающийся описания некоторых двигательных задач, убедительно свидетельствует о программном построении действий.

Вудвортс в 1958 г. сформулировал представление о двухфазных и полифазных моторных единицах [169]. Развивая это представление, Фиттс раскрывает содержание полифазной единицы и говорит о том, что, возможно, эта единица является элементом выполнения программы [139]. Полифазная единица в простейшем виде — последовательность нескольких двухфазных единиц, т. е. более крупный или более длинный кусок каким-то образом связанной двигательной активности (например, тем, что отдельные акты находятся по соседству во времени и многократно выполняются в одной и той же очередности).

По нашему мнению, причина, в силу которой возможно создание модели совокупности действия, вытекает из представлений Шифрина и Шнейдера об управляемой и автоматической обработке информации. Переход от контролируемых к автоматическим процессам является результатом научения субъекта. Общее усилие, вкладываемое в выполнение задания, снижается в процессе научения и перехода к автоматическим процессам. При этом в случае автоматической обработки информации человек в какой-то степени все же контролирует кодирование. Он может, например, направлять свое внимание на какую-то информацию или отвлечься от нее. Некоторые элементы, активируемые автоматически, могут инициировать ответную реакцию, которая будет направлять дальнейшую обработку.

Наши наблюдения, опыты с испытуемыми и данные других авторов [85, 164] свидетельствуют о том, что в процессе обучения большую роль играет группирование отдельных двигательных актов в некоторые блоки. На начальном этапе обучения, после нескольких повторений обучающей последовательности оператор запоминает некоторый участок последовательности (один или несколько) и в дальнейшем пользуется им в качестве отправного, присоединяя к нему элементы или группы.

Конструирование сцепленных групп ответных действий осуществляется таким образом, что есть возможность общего описания группы [102]. Это свидетельствует о наличии в центральной нервной системе человека управляющего механизма программного типа, в котором при обучении новой последовательности конструируются (синтезируются) конкретные программы. По-видимому, программы эти состоят из не-

которых элементов или подпрограмм, каковыми и являются те структуры, которые обеспечивают выполнение сцеплений группы действий.

Все вышеизложенное дает основания считать, что этапы процесса обучения аналогичны этапам оперативного мышления дежурного за пультом управления. А основные компоненты оперативного мышления — структурирование, динамическое узнавание и формирование алгоритма решения — являются и основными компонентами процесса обучения. Сконструированная соответствующим образом методика проведения лабораторной пробы должна обеспечить протекание процесса обучения на невербальном уровне, характерном для работы опытного оператора.

#### 5.4. Математическая модель процесса обучения и параметры кривой обучения

В работе [78] на основе обучения испытуемого распознаванию некоторой закономерной обучающей последовательности исследовалось время реакции на слова, составляющие эту последовательность. Затем это время нормировалось. Из рис. 5.1 видна тенденция к уменьшению первоначально длительного времени реакции. По мере формирования закона обучающей последовательности испытуемый начинает действовать все быстрее. В конце периода обучения величина времени реакции колеблется относительно некоторой постоянной составляющей.

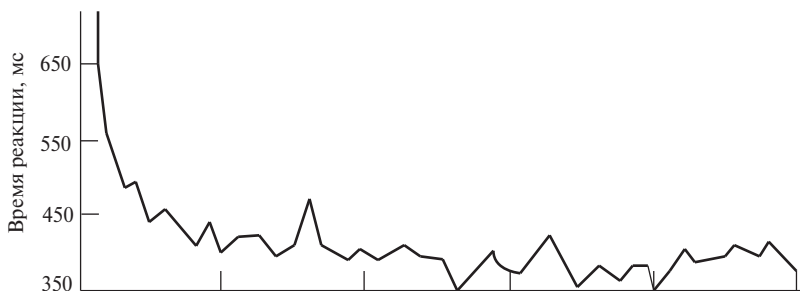


Рис. 5.1. Кривая обучения

Анализируя кривую научения, можно предположить, что первоначально процесс распознавания происходит таким образом, что испытуемый контролирует кодирование. В дальнейшем на передний план выступают автоматические процессы. Отдельные выбросы свидетельствуют о том, что даже при автоматических процессах присутствует участие контролируемых процессов.

Из анализа полученных в ходе экспериментов данных следует, что скорость изменения времени реакции по шагам обучения пропорциональна некоторой величине и тем меньше, чем ближе время реакции к постоянной составляющей. Формально это можно записать следующим образом:

$$\frac{dL}{dn} = P - \alpha L, \quad (5.1)$$

где  $L$  — время реакции;  $n$  — шаг обучения;  $P$  — параметр, определяющий реакцию обученного оператора;  $\alpha$  — коэффициент пропорциональности.

Придавая независимой переменной  $n$  характер непрерывной переменной, получим следующее решение уравнения:

$$L(n) = C e^{-an} + \frac{P}{a}. \quad (5.2)$$

В уравнение (5.2) входят три неизвестных:  $C$  — как постоянная интегрирования,  $a$  — как параметр скорости обучения и  $P$ . Обычно постоянная интегрирования определяется по начальным условиям для  $n = 0$ . К сожалению, в рассматриваемом случае определить величину времени реакции до начала обучения невозможно. Поэтому произведем сдвиг по шагам обучения на единицу. Запишем решение (5.2) в виде

$$L(n) = C e^{-a(n-1)} + \frac{P}{a}. \quad (5.3)$$

Тогда, полагая  $n = 1$ , получим величину времени реакции оператора на первое предъявление обучающей последовательности

$$L_1 = C + \frac{P}{a}. \quad (5.4)$$

Определив  $C$  из уравнения (5.4) и подставив в уравнение (5.3), получим

$$L(n) = \left( L_1 - \frac{P}{a} \right) e^{-a(n-1)} + \frac{P}{a}. \quad (5.5)$$

По-видимому, есть все основания полагать, что при бесконечно большом времени обучения ( $n = \infty$ ) величина времени реакции обученного оператора равна некоторому среднему значению  $L_\infty$ . Подставляя в уравнение (5.3) эти граничные условия, найдем  $\frac{P}{a} = L_\infty$ . Теперь уравнение (5.5) примет вид:

$$L(n) = (L_1 - L_\infty) e^{-a(n-1)} + L_\infty. \quad (5.6)$$

В полученной модели процесса обучения время реакции экспоненциально зависит от числа шагов обучения. На подобную зависимость обращали внимание и другие исследователи процесса обучения [1, 10, 48].

### Параметры кривой обучения

Полученное в предыдущем параграфе математическое выражение для описания процесса обучения позволяет выделить следующие основные критерии состояния оператора. Все они определяют соотношение контролируемых и автоматических процессов кодирования.

*Время реакции оператора на первое предъявление обучающей последовательности.* Оператор воспринимает последовательность как случайную, у него нет никакого представления ни о длине последовательности, ни о моменте конца первого и начала второго предъявления. Представляется правдоподобным утверждение о том, что величина  $L_1$  определяется готовностью оператора к решению данной задачи, характеристикой переключаемости его внимания, скоростью перехода от решения одной задачи к решению другой.

Обнаруживается зависимость величины  $L_1$  и от длины последовательности. Хик обнаружил [143], что латентный период дизъюнктивной реакции (реакция выбора) пропорционален логарифму альтернативных стимулов при условии равной вероятности их появления. Предположения Хика о существовании функциональной зависимости латентного периода от информации, содержащейся в стимуле, было подтверждено в экспериментах Хаймена, который применил различные способы варьирования информации на стимул. Зависимость между латентным периодом дизъюнктивной реакции и информационным содержанием стимула может быть выражена формулой

$RT = a + bH$ , где  $RT$  – время реакции;  $a, b$  – константы;  $H$  – средняя информация на стимул. Впоследствии В. И. Николаев на основании представления о составляющих «полного времени оператора» выделил время, затрачиваемое на получение и преобразование информации [83]. Это позволило ему связать большое число разрозненных данных уравнением  $\tau = 0,03 H$ , где  $\tau$  – время получения и преобразования информации;  $H$  – количество информации, перерабатываемой оператором.

*Время реакции обученного оператора.* Одним из факторов, определяющих величину параметра  $L_{\infty}$ , является, как показывают эксперименты, сложность двигательной модели, выработанной в процессе решения испытуемым задачи. Казалось бы, что испытуемый, прочно усвоив порядок следования раздражителей, в состоянии заранее подготовиться к появлению очередного раздражителя. Можно было бы надеяться, что сложная деятельность испытуемого в процессе обучения сменится простой сенсомоторной реакцией. Однако зависимость времени реакции обученного испытуемого от длины обучающей последовательности показывает, что дело обстоит несколько иначе. Очевидно, на деятельность испытуемого оказывает влияние остаточная неопределенность появления стимула, подмеченная Бушем и Мостселером.

Время реакции обученного оператора в значительной мере должно зависеть от характеристики устойчивости внимания. Флуктуации внимания, даже кратковременные, приводят к значительным выбросам экспериментальных точек, что, в конечном счете, обуславливает возрастание осредненной величины  $L_{\infty}$ .

*Показатель скорости обучения.* Этот параметр определяет способность оператора к взаимодействию с окружающей средой, способность моделировать закономерности среды, распознавать организацию элементов ситуации. Величина параметра  $a$  зависит от объема внимания испытуемого, состояния его оперативной памяти, лабильности корковых процессов, способности испытуемого к организации процесса оперативного мышления. Заметно сказывается на скорости обучения сложность предъявляемой последовательности. Чем проще закон следования раздражителей, тем скорее испытуемый познает его, тем быстрее вырабатывается модель двигательной активности. В свете изменения соотношения контролируемых и автоматических процессов при утомлении показатель скорости обучения будет также свидетельствовать об этом состоянии.

Таковы основные параметры процесса обучения, которые могут быть использованы в качестве критериев оценки состояния оператора,

дежурящего за пультом управления. При этом следует учесть, что упомянутые зависимости значений параметров  $L_1$ ,  $L_\infty$  и  $a$  далеко не исчерпываются приведенными факторами. Следует ожидать влияния на величину выбранных параметров таких воздействий, как газовый состав дыхательной среды, различных эмоциогенных факторов, искусственного изменения периодов работы и отдыха.

### Коэффициент субъективной сложности

Диагностику состояния оператора удобнее проводить, если вместо отдельных параметров кривой обучения  $a$ ,  $L_1$  и  $L_\infty$  ввести один параметр. Обозначим его через  $K$  и назовем коэффициентом субъективной сложности обучающей последовательности. Будем искать его в виде

$$K = k_1 a + k_2 L_1 + k_3 L_\infty, \quad (5.7)$$

воспользовавшись для вычисления методом линейных дискриминантных функций [17].

Весовые коэффициенты  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  должны отражать вариативность соответствующих параметров. В математической статистике в качестве обобщающей статистической характеристики вариации значений признака принимается среднее квадратическое отклонение.

Следует учесть, что знаки весовых коэффициентов  $k_1$ , с одной стороны, и  $k_2$ ,  $k_3$  — с другой, должны быть из чисто логических соображений противоположными. Это вытекает из того, что увеличение сложности познания обучающей последовательности отражается в уменьшении скорости обучения и в увеличении времени реакции  $L_1$  и  $L_\infty$ .

В работе [78] показано, что при определенном упрощении значение коэффициента субъективной сложности обучающей последовательности определяется по формуле

$$K = 0,544 + 0,251 \cdot 10^{-3} L_1 + 0,520 \cdot 10^{-3} L_\infty - 0,514 a. \quad (5.8)$$

Используя непосредственно коэффициент  $K$ , можно получить оценку состояния оператора. Однако существует ряд неудобств. Во-первых, обратная зависимость между величиной  $K$  и способностью к оперативному мышлению. Во-вторых, может понадобиться система диагностики с повышенной чувствительностью в каком-либо диапазоне значений коэффициента  $K$ . Кроме того, может представить интерес изменение знака параметра состояния при достижении не-



которого порогового значения коэффициента сложности. Например, в системе «годен» — «негоден».

В этой связи представляется целесообразно осуществлять вычисление параметра состояния по формуле

$$Q = A - K^b, \quad (5.9)$$

где  $A$  и  $b$  — постоянные коэффициенты;  $K$  — коэффициент сложности, изменяющийся от 0 до 1.

Выражение (5.9) представляет собой уравнение параболы степени  $b$  с вертикальным смещением вершины на величину  $A$ . Выбор коэффициентов  $A$  и  $b$  зависит от конкретных условий использования параметра  $Q$ . Так, для вывода оценки оператору по многобальной системе удобно положить  $A = 1$ ,  $b = 1$ , что и было сделано в нашей программе. В этом случае показатель состояния будет  $Q = 1 - K$ , т. е. зависимость  $Q$  от  $K$  — линейная, обратная. Чем труднее оператору познать данную закономерность следования раздражителей, тем меньше значение параметра  $Q$ .

При двухбальной оценке состояния («хорошее» — «неудовлетворительное») выбор коэффициента  $b$  позволяет изменять чувствительность системы диагностики в ту или другую сторону. Так, если  $b > 1$ , крутизна кривой (15) увеличивается с увеличением  $K$ , если  $b < 1$ , наоборот, увеличение коэффициента  $K$  сопровождается уменьшением крутизны кривой. Изменение коэффициента  $A$  позволяет получить изменение знака  $Q$  при переходе им допустимого значения.

## 5.5. Создание обучающих последовательностей

Обучающая последовательность представляет собой совокупность слов определенной длины, составленных из букв некоторого алфавита. Если зафиксировать алфавит и длину слова, то сочетания букв в слове могут быть самые различные, но число их конечно. Пусть, например, каждое следующее слово обучающей последовательности составляется таким образом, что при его предъявлении любая из букв алфавита может с равной вероятностью попасть в слово. Понятно, что в этом случае неопределенность (энтропия), которую несет испытуемому каждое слово обучающей последовательности, является максимальной. Работа с такого рода обучающими последовательностями весьма эффективна для определения времени реакции, составленного из времени ориентировки и времени двигательного

акта. Действительно, в этом случае испытуемый, составивший модель внешней среды, в каждый следующий момент с равной вероятностью ожидает любую из букв. Разумеется, даже при действии закона равной вероятности короткие отрезки обучающей последовательности могут казаться испытуемому закономерными и формировать в мозгу некоторые модели. Но при этом показ очередной буквы может сразу же нарушить возникшую модель. Человек будет вынужден строить новую модель и так вплоть до осознания полной бесполезности этой задачи. Поэтому при подаче чисто случайной последовательности трудно выявить характеристики обучения.

Теперь рассмотрим, как создаются обучающие последовательности. Например, требуется построить ряд обучающих последовательностей равной сложности. Возьмем конкретный алфавит из трех букв Б, З, С (Б – белый, З – зеленый, С – синий цвет лампочек), длина слова – шесть элементов (условие I):

Допустим, на экране монитора с помощью созданной программы предъявляются последовательности трехбуквенного алфавита. В ответ на каждое воздействие какого-либо раздражителя испытуемый должен нажать одну из трех клавиш клавиатуры, закрепленную за этим раздражителем (рис. 5.2).

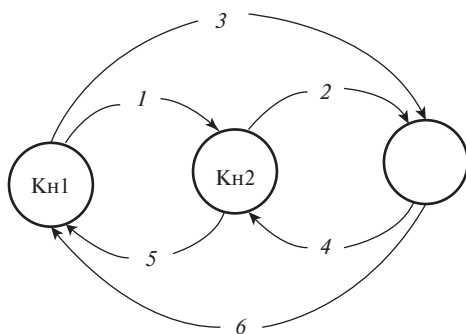


Рис. 5.2. Расположение кнопок (Кн1–Кн3) и возможные пути следования (1–6) рук оператора

Практика работы с подобным прибором позволяет утверждать, что пути 1 и 2, 4 и 5 психологически эквивалентны. Психологически эквивалентными будем называть слова, полученные друг из друга заме-

ной букв. При малом расстоянии между клавишами (не более 40 мм) психологически эквивалентными можно считать пути 1, 2, 4 и 5.

Для упрощения конструирования обучающих последовательностей и аппаратуры предъявления примем еще одно условие. Исключим из рассмотрения последовательности, в которых одни и те же раздражители следуют друг за другом (сочетания типа ...ББ..., ...333..., ...СССС... и др.). Таким образом, исключая «опорные» участки последовательности, мы усложняем работу оператора [85] и отказываемся от последовательностей с двоичным алфавитом. В случае использования последовательностей с двоичным алфавитом при этом условии возможна только одна последовательность: ...БЗБЗБЗ... .

Следует заметить, что все предыдущие рассуждения касались только такой постановки эксперимента, когда при правильной реакции испытуемого исчезал один сигнал и сразу появлялся другой. Аналогичной постановки будем придерживаться и в дальнейшем.

Рассмотрим в качестве примера составление обучающей последовательности трехбуквенного алфавита длиной шесть элементов. Пусть кнопки, включающие лампочки, расположены так, как изображено на рис. 5.2. Условие логической эквивалентности позволяет вести составление, выбрав в качестве начала отсчета какой-либо один путь, например путь 1. Логически эквивалентными будем называть слова, полученные друг от друга циклической перестановкой. Составим психологически эквивалентные слова, содержащие все шесть путей.

Для облегчения рассуждения процесс составления последовательностей удобно представить графически (рис. 5.3). После выполнения испытуемым пути 1 могут быть использованы только пути 2 и 5. После пути 2 могут следовать пути 4 и 6. Но вслед за путем 4 путь 2 не может быть использован, так как согласно условию последовательность должна содержать все шесть возможных путей. При длине последовательности, равной шести, каждый путь может использоваться только один раз. В силу этого после пути 4 может быть использован только путь 5, после пути 5 — путь 3, после пути 3 — путь 6. Аналогично строится и последовательность 1—2—6—3—4—5. При построении последовательности 1—5—3 дальше, казалось бы, можно использовать пути 4 и 6. Однако использование пути 6 невозможно, так как за ним следуют пути 1 и 3, которые уже были использованы.

Таким образом, из всего многообразия перестановок из трех элементов по шести в силу ограничений можно использовать только три последовательности: 1—2—4—5—3—6; 1—2—6—3—4—5; 1—5—3—4—2—6.

Если клавиша *Кн1* гасит красную лампочку, клавиша *Кн2* – синюю, а *Кн3* – зеленую, порядок следования цветов такой: КСЗСКЗ; КСЗКЗС; КСКЗСЗ.

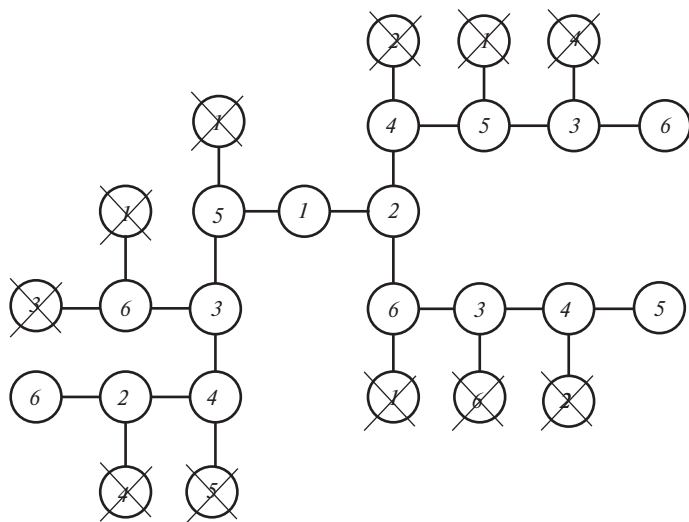


Рис. 5.3. Построение обучающих последовательностей

Аналогично могут быть составлены последовательности и для других структурных условий. Понятно, что для составления последовательностей, содержащих 7 и тем более 8 элементов, необходимо допущение повторного загорания лампочек одного цвета. Условия же конструирования последовательностей должны обуславливаться в таком случае другими исходными предпосылками.

В табл. 5.1 показаны 24 обучающие последовательности, которые использовались в наших экспериментах. Приведенный набор последовательностей, разумеется, не единственный. Согласование сложности испытания со сложностью трудовой деятельности может потребовать набора равносложных последовательностей с другим значением *К*. В качестве критерия совпадения сложностей следует, на наш взгляд, выбирать одинаковость изменения во времени параметров, характеризующих субъективную сложность трудовой деятельности и субъективную сложность процесса обучения. Очевидно, что процесс согласования должен осуществляться для каждого конкретного вида управляемой системы. Этот процесс может быть

осуществлен как экспериментально — путем набора последовательностей под заданную сложность трудовой деятельности, — так и аналитически — нахождением связи между изменениями субъективной сложности рабочих операций и коэффициентом  $K$  заданного набора равносложных обучающих последовательностей.

Таблица 5.1

Обучающие последовательности, которые использовались  
в наших экспериментах

	Последовательность	Порядок загорания лампочек
1.	1–2–4–5	КСЗС
2.	1–5–3–6	КСКЗ
3.	3–4–2–6	КЗСЗ
4.	1–2–6–1–5	КСЗКС
5.	3–4–2–4–5	КЗСЗС
6.	3–4–5–3–6	КЗСКЗ
7.	1–2–4–5–3–6	КСЗСКЗ
8.	1–5–3–4–2–6	КСКЗСЗ
9.	1–2–4–5–1–5	КСЗСКС
10.	1–5–1–5–3–6	КСКСКЗ
11.	1–2–4–5–1–2–6	КСЗСКСЗ
12.	1–2–6–3–4–2–6	КСЗКЗСЗ
13.	1–2–4–2–6–1–5	КСЗСЗКС
14.	1–5–3–4–2–4–5	КСКЗСЗС
15.	3–6–3–4–2–4–5	КЗКЗСЗС
16.	1–2–6–1–5–3–4–5	КСЗКСКЗС
17.	1–2–4–5–3–4–2–6	КСЗСКЗСЗ
18.	1–2–6–3–4–5–3–6	КСЗКЗСКЗ
19.	1–2–4–5–3–6–1–5	КСЗСКЗКС
20.	1–2–6–3–4–2–4–5	КСЗКЗСЗС
21.	1–5–3–6–3–4–2–6	КСКЗКЗСЗ
22.	1–5–1–5–3–4–2–6	КСКСКЗСЗ
23.	1–5–3–4–2–4–2–6	КСКЗСЗСЗ
24.	1–2–6–3–6–3–4–5	КСЗКЗКЗС

Как уже было отмечено, к выбору последовательностей возможны два подхода. Один из них предусматривает согласование сложности обучающей последовательности со сложностью трудовой деятельно-

сти оператора. Следует заметить, что в настоящее время осуществить подобное согласование чисто аналитическим путем весьма затруднительно. Более простым представляется экспериментальный подбор по одинаковости изменения во времени параметров, характеризующих трудовую деятельность оператора, и параметров кривой обучения.

Другой подход предусматривает нахождение аналитической зависимости между изменением во времени параметров трудовой деятельности и параметров кривой обучения из семейства равносложных последовательностей.

По поводу необходимого количества обучающих последовательностей, задействованных в системе диагностики состояния оператора, можно сказать следующее. Магическое число семь Миллера имеет прямое отношение лишь к непосредственной памяти. Для нас интерес представляет объем долговременной памяти. Именно она определяет минимальное число последовательностей, при котором следовые эффекты памяти оказывают несущественное влияние на результаты диагностики. Эксперименты Б. П. Невельского [81] показывают, что объем долговременной памяти, выраженный количеством воспроизведенной информации при равновероятном появлении символов из одного алфавита, практически не зависит от числа символов. Потери же информации, т. е. забывание, прямо пропорциональны числу символов. При пяти символах объем долговременной памяти и потери информации равны, при восьми символах потери в три раза превышают объем памяти. Необходимо учесть, что методика проведенных лабораторной пробы в наших экспериментах не оставляет возможности для осмысливания работы. Оператору необходимо осуществить еще ряд моторных и умственных действий, чтобы дать отчет о последовательности, с которой он работал. Поэтому следует говорить не просто о долговременной памяти, а о произвольной долговременной памяти, объем которой значительно меньше произвольной. Наблюдения за работой испытуемых в проведенных экспериментах показали определенное влияние интерференции навыков, затрудняющее работу оператора и в какой-то мере компенсирующее эффект запоминания последовательностей. Все это позволяет считать, что число обучающих последовательностей может быть выбрано близким к магическому числу.

## Время проведения испытания

Результаты экспериментов показали, что в среднем для обучения испытуемым понадобилось 10 предъявлений последовательности. За это время все испытуемые, как правило, успевали разобраться в последовательности, выявить группы и создать устойчивую двигательную модель решаемой задачи. Вопрос о необходимом количестве предъявлений нас интересует с точки зрения продолжительности лабораторной пробы, т. е. времени, на которое придется отрывать дежурного от выполнения своих обязанностей. В работе [52] определено это время. В частности, для последовательности из шести элементов ( $d = 6$ ) это время составит 37 с. При  $d = 8$   $T = 50$  с. Таким образом, можно считать, что вместе с машинной обработкой результатов эксперимента для определения состояния оператора по рассмотренной нами методике вполне достаточно 1 мин. Это время в большинстве случаев можно считать приемлемым для оценки состояния операторов больших систем.

Проведенные эксперименты и обработка полученных данных позволяют сделать некоторые выводы относительно процесса обучения человека детерминированной последовательности. Прежде всего необходимо сказать, что сложность обучающей последовательности при соблюдении условий логической и психологической эквивалентности определяется не столько длиной последовательности, сколько ее структурой.

### 5.6. Алгоритм обработки экспериментальных данных

Ранее было получено выражение, связывающее время реакции оператора с шагами обучения,

$$L(n) = (L_1 - L_\infty)e^{-a(n-1)} + L_\infty. \quad (5.10)$$

Теперь найдем параметры кривой обучения, если известны экспериментальные значения  $L_1, L_2, \dots, L_p, \dots$ . Потребуем при этом, чтобы сумма квадратов ошибок

$$E = \sum_{i=1}^m [(L_1 - L_\infty)e^{-a(n-1)} + L_\infty - L_i]^2$$

между теоретической и экспериментальной кривыми была минимальной. Это приводит к необходимости решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial E}{\partial C} = \sum_{i=1}^m s^{i-1} (Cs^{i-1} + L_{\infty} - L_i) = 0, \\ \frac{\partial E}{\partial L_{\infty}} = \sum_{i=1}^m (Cs^{i-1} + L_{\infty} - L_i) = 0, \\ \frac{\partial E}{\partial a} = \sum_{i=1}^m C(i-1)s^{i-1} (Cs^{i-1} + L_{\infty} - L_i) = 0, \end{cases}$$

где  $m$  — число экспериментальных точек, по которым определяются сглаженные параметры;  $C = L_1 - L_{\infty}$ ;  $s = e^{-a}$ .

В результате решения этих уравнений получаем

$$L_{\infty} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i - C \sum_{i=1}^m s^{2(i-1)}}{m}, \quad (5.11)$$

$$\frac{m \sum_{i=1}^m (s^{i-1} L_i) - \sum_{i=1}^m s^{i-1} \cdot \sum_{i=1}^m L_i}{m \sum_{i=1}^m s^{2(i-1)} - \left( \sum_{i=1}^m s^{i-1} \right)^2} = \frac{\sum_{i=2}^m \Delta i - \sum_{i=2}^m s^{i-1} \Delta_i}{m + \sum_{i=1}^m s^{2(i-1)} - 2 \sum_{i=1}^m s^{i-1}}. \quad (5.12)$$

Алгоритм обработки экспериментальных данных, заложенный нами в программу, представляет собой следующий порядок действий:

1. Из уравнения (5.11) определяется  $s$  и одновременно находится  $C$ .
2. Из уравнения (5.12) находится значение времени реакции  $L_{\infty}$ .
3. По значению  $s$  определяется параметр скорости обучения  $a$ .
4. Определяется  $L_1 = L_{\infty} + C$ .
5. По формуле  $K = 0,544 + 0,251 \cdot 10^{-3} L_1 + 0,520 \cdot 10^{-3} L_{\infty} - 0,514 a$  определяется значение коэффициента субъективной сложности.
6. По формуле  $Q = 1 - K$  вычисляем показатель состояния оператора.

Этот алгоритм оказался достаточно сложным для своей реализации в условиях развития техники 70-х годов, о чем пишет автор работы [52] и это затруднило создание малогабаритного устройства, необходимого для расширения экспериментальных работ. Для реализации же его в нашей программе никаких сложностей не возникало. Тем



не менее мы реализовали и упрощенный алгоритм вычисления параметров процесса обучения  $L$ ,  $L_{\infty}$  и  $a$  с целью сравнения результатов. При определенных допущениях алгоритм нахождения параметров процесса обучения оказывается достаточно простым.

Из первых трех значений  $L_i$  находится  $L$ , как  $L_{i \max}$ .

Из последних пяти значений  $L_i$  находится  $L_{\infty}$  как  $L_{i \min}$ .

Вычисляется  $\sum_{i=1}^{10} e^{-a(i-1)}$ .

## 5.7. Программная система диагностики оперативного мышления

Разработанная нами автоматизированная система диагностики состояния оперативного мышления существенно отличается от системы, описанной в [52]. При проведении там опытов экспериментатор перед каждым предъявлением указывал испытуемому шифр последовательности, на основании которого испытуемый устанавливал в нужные положения рукоятки переключателей на приборе «Аксамит-3». В условиях длительного дежурства за пультом управления этот вариант задания последовательностей неприемлем из-за отсутствия экспериментатора и нецелесообразности регламентации сроков проведения лабораторной пробы. Заранее известное время испытания приведет к тому, что состояние оператора к началу пробы под воздействием эмоциогенных факторов будет существенно отличаться от характерного для обычной трудовой деятельности. В нашей системе предусмотрено автоматическое включение сигнала, предшествующего проведению лабораторной пробы (типа «Внимание! Начали!»). Смена обучающих последовательностей также осуществляется автоматически. Автоматическим также является и учет числа предъявлений обучающей последовательности. После десяти показов проведение испытания автоматически прекращается.

Кроме этого, в системе предусмотрена подача не только визуальных, но и звуковых и тактильных стимулов. После завершения теста программа позволяет испытуемому воспроизвести распознанную им текущую последовательность.

Ниже приводится инструкция по работе с программой.

### Описание

Эта программа предназначена для диагностики состояния человека-оператора за пультом в автоматизированной системе управления.

Она позволяет оценить степень текущего соответствия структуры способностей индивида структуре производственной деятельности.

Степень текущего соответствия определяет профессиональную пригодность оператора на момент диагностики, способность выполнить поставленную перед ним задачу.

### **Установка**

1. Установить LibUsbDotNet, используя дистрибутив LibUsbDotNet\_Setup.2.2.8.exe, который можно найти в папке с исходным кодом проекта.

2. Установить usb драйвер для используемого устройства, используя программу install-filter-win.exe. Она находится в той папке, куда был установлен LibUsbDotNet (C:/Program Files/LibUsbDotNet).

3. Программа diagnostics.exe готова к использованию.

### **Использование**

При запуске вы увидите стартовое окно Диагностика состояния оператора с 5 кнопками:

- Свернуть
- Запустить
- Статистика
- Документация
- Тренировка

Для закрытия программы вы можете нажать красный крестик в верхнем правом углу окна.

Кнопка «Свернуть» сворачивает программу в нижнем правом углу. При нажатии правой кнопкой на значок, отображается меню.

Кнопка «Запустить» запускает программу тестирования сразу же, если вам так удобнее.

Кнопка «Статистика» отображает окно, где показаны результаты всех попыток в виде таблицы и графика. Красные попытки означают неудовлетворительный результат.

Кнопка «Документация» открывает эту документацию.

Кнопка «Тренировка» запускает программу тестирования в пробном режиме. Текущая последовательность отображается в нижнем левом углу экрана. Ваш результат не заносится в статистику.

## **Прохождение тестирования**

При запуске тестирования вы увидите кнопку «Начать», по нажатии которой начнется обратный отсчет в 3 секунды. После оконча-

ния отсчета вы увидите три лампочки: красную, синюю и зеленую, только одна из которых будет заполнена цветом, а также услышите звуковой сигнал, соответствующий данному цвету.

Также программа ищет подключенное usb устройство, на которое пишет бинарный код текущего сигнала:

Цвет лампочки	Бинарный код
Красный	0101 0010
Синий	0100 0010
Зеленый	0100 0111

Ваша задача заключается в том, чтобы как можно быстрее и без-ошибочней нажимать соответствующую стрелочку на клавиатуре:

- стрелочка влево соответствует левой (красной) лампочке;
- стрелочка вниз соответствует средней (синей) лампочке;
- стрелочка вправо соответствует правой (зеленой) лампочке.

После завершения теста программа попросит вас повторить текущую последовательность в окне «Введите текущую последовательность». Для этого, начиная сверху вниз в каждом из рядов кнопок, нажмите соответствующую, а затем нажмите кнопку «Далее».

После этого вы увидите окно «Результаты теста» с графиком прохождения, процентом правильности вашего повторения последовательности и результатом теста  $Q$ . Оценка в зависимости от значения  $Q$  следующая:

Значение $Q$	Оценка
$Q < 0.3$	Неудовлетворительно
$0.3 < Q < 0.5$	Удовлетворительно
$0.5 < Q < 0.75$	Хорошо
$Q > 0.75$	Отлично

Кнопка «Закрыть» закрывает окно тестирования. Результат автоматически добавляется в статистику, если вы были не в режиме тренировки.

Программа может выдавать три оценки состояния оперативного мышления оператора. Одна из них предназначена для предъявления испытуемому. В этом случае желательно иметь несколько градаций состояния, чтобы легче было следить за его динамикой и принимать

в случае необходимости меры, способствующие поддержанию работоспособности на требуемом уровне. Меры эти могут быть самые различные, вплоть до тонизирующей фармакологии. Поэтому мы применили четыре градации состояния как наиболее привычные: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

В программе предусмотрено использование оценки состояния в самой системе диагностики с целью сокращения времени между испытаниями при ухудшении состояния оперативного мышления. При этом возможен переход на двухбалльную оценку состояния, который происходит в том случае, когда состояние охарактеризовано нижней оценкой. Обратный переход на многобалльную систему только после трехкратного получения оператором высоких оценок.

Наконец, третья оценка нужна для решения задачи динамического распределения функций. Число градаций состояний в этом случае может быть сведено к двум. Сигнал к замене оператора появляется при значении критерия способности к оперативному мышлению ниже граничного.

## **5.8. Подсистема контроля готовности оператора к экстренному действию**

При анализе деятельности оператора за пультом управления установлено, что способность оператора к эффективному исполнению своих обязанностей в рассматриваемом виде трудовой деятельности определяется двумя факторами: способностью к своевременному обнаружению отклонения управляемой системы от заданного режима (бдительностью) и способностью к оперативному мышлению. В настоящее время существуют системы определения бдительности оператора. Не рассматривая их подробно, попытаемся объединить в одно целое две системы диагностики — систему проверки бдительности и систему определения способности дежурного к оперативному мышлению.

Система оценки бдительности оператора основана на контроле времени реакции на условный раздражитель, поступающий по основному каналу информационной связи машины с оператором и заключающийся в выполнении операции, близкой к основной, рабочей. Время реакции, обладающее межиндивидуальной вариативностью, в своем абсолютном значении не пригодно для измерения бдительности. Разные по времени ответы могут явиться следствием

одинакового уровня готовности, но различного, свойственного этим испытуемым среднего времени реакции. Готовность к действию, условно называемая коэффициентом рабочей установки (КРУ) [96, 98], записывается в виде формулы

$$\text{КРУ} = \frac{R_c}{R_t}, \quad (5.13)$$

где  $R_c$  — среднее время реакции;  $R_t$  — текущее значение времени реакции.

Система контроля скорости обнаружения сигнала (бдительность) легко вписывается в систему определения способности к оперативному мышлению. В инструкцию для испытуемого вносятся соответствующие изменения с тем, чтобы он как можно быстрее реагировал на появление на экране монитора визуального стимула нажатием клавиши «пробел». Продолжительность наличия этого стимула определяет текущее время реакции. После сравнения его со средним временем в блоке регистрации на пульте оператора выдается оценка КРУ. Наличие системы оценки КРУ позволяет сократить частоту испытания оперативного мышления в зависимости от первой оценки. Частота проверки бдительности может оставаться в пределах 10–30 мин. Необходимо заметить, что оценка КРУ используется только для показа испытуемому и решения вопроса о необходимости контроля оперативного мышления. Решение же задачи динамического распределения функций, замены оператора может быть осуществлено только после проверки состояния оперативного мышления.

Следовательно, алгоритм работы вычислителя дополняется операцией (5.13).

Система диагностики готовности оператора к экстренному действию работает следующим образом. Сигнал, выдаваемый программой, включает визуальный стимул на экране монитора. Испытуемый согласно инструкции нажимает клавишу «пробел». Продолжительность нахождения стимула подается в программу для обсчета полученных результатов и выдачи их для оценки КРУ. В зависимости от оценки испытания и времени, прошедшего после предыдущей проверки состояния оперативного мышления, испытания могут на этом закончиться. Если возникает необходимость в контроле оперативного мышления, программа снова подаст на монитор визуальный стимул. Испытуемый опять должен нажать клавишу «пробел», которая, включает в работу систему диагностики оперативного мышления, работа которой описана в предыдущем параграфе.

Следует заметить, что обе рассмотренные системы обладают известной избыточностью с точки зрения числа испытаний. Далеко не каждое испытание будет проводиться тогда, когда в этом есть необходимость. Для уменьшения частоты испытаний В. Н. Пушкин и Л. С. Нерсисян [96] предлагают использовать биопотенциалы головного мозга (ЭЭГ). Система, использующая эти потенциалы, будет осуществлять испытание в то время (и только в то время), когда изменение функционального состояния уже началось, т. е. когда действительно нужен контроль. Однако использование электрофизиологических параметров — ЭЭГ, электрического сопротивления кожи, актограммы, — оправдывающих себя в системах контроля состояния водителей автомобилей, локомотивов и т. д., не совсем подходит для диагностики состояния операторов, занятых контрольной деятельностью. Хорошо отражая наступление гипнотических состояний, физиологические параметры не всегда дают возможность отличить активную деятельность оператора от занятия им посторонними делами и мыслями. Эти соображения не позволяют отказаться от принудительного запуска системы диагностики. Однако они позволяют ввести в вычислитель сигналы от датчиков физиологических параметров с целью обеспечения экстренной проверки способностей оператора при резких изменениях функционального состояния, в частности резкого снижения готовности к экстренному действию.

## Глава 6. ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ ОПЕРАТОРСКИМ ПРОФЕССИЯМ

---

### 6.1. Формирование навыков и умений

Наряду с профотбором, который необходим для обеспечения максимальной эффективности и надежности работы человеко-машинных систем в целом и транспортных систем в особенности, огромное значение имеет такое универсальное средство профессиональной подготовки, каковым является обучение.

В процессе обучения, жизни и деятельности каждый человек накапливает знания, относящиеся к различным областям. При этом одни усвоенные знания могут служить основой и содействовать овладению новыми знаниями, в других возможно возникновение взаимной интерференции знаний, т. е. отрицательное влияние усвоенных знаний на вновь усваиваемые. Эти моменты важно учитывать в организации обучения: в определении последовательности тем, порций материала, сообщаемого на каждом занятии и т. д.

С психологической точки зрения знания могут выступать в форме наглядных представлений (образов) и понятий, являющихся абстрактным или обобщенным отражением действительности. Одним из существенных свойств системы знаний оператора является такая ее организация, которая обеспечивает возможность легкого перевода (трансформации) наглядных представлений в понятия, и наоборот. Это составляет важнейшее условие формирования концептуальных моделей, оперативных образов, субъективных моделей управляемого объекта и среды, которые осуществляют функцию регуляторов операторской деятельности. В этой связи достаточно остро встает вопрос о психологической структуре профессиональной компетентности и процессе ее формирования.

До недавнего времени считалось, что человек в процессе своей профессионализации просто накапливает знания, которые и позволяют ему более успешно решать возникающие перед ним задачи. Однако последние работы в области когнитивной психологии показали, что не большой объем знаний и не более высокий общий

интеллект отличают способность профессионалов эффективно ставить и решать задачи в своей области.

Лауреат Нобелевской премии Г. Саймон, воспользовавшись проведенной ранее работой А. де Гроота, исследовал мышление профессионала на модели мышления шахматиста. Кстати, напомним, что В. Н. Пушкин при исследовании оперативного мышления также использовал решение шахматных позиций. А. де Гроот обнаружил, что высококвалифицированные шахматисты (мастера и гроссмейстеры) незначительно превосходят менее сильных игроков скоростью, глубиной и широтой расчета вариантов, но зато демонстрируют исключительную шахматную память. Предъявляя сложные позиции на короткое время (2–10 с), он показал, что квалифицированные шахматисты правильно воспроизводят положение значительно большего количества фигур на доске.

Саймон предположил, что дело здесь не в самих по себе способностях кратковременной памяти шахматистов, а в том, что они обладают большим количеством паттернов, описывающих типичные пешечные и фигурные структуры на шахматной доске. Столкнувшись с новой позицией, хороший шахматист видит не 20–30 разрозненных фигур, а несколько знакомых конфигураций, каждая из которых включает определенное число фигур и пешек. Эти несколько конфигураций не переполняют кратковременную память и могут быть правильно воспроизведены.

Свои рассуждения Саймон подкрепил экспериментами и компьютерным моделированием. Дополнив эксперименты де Гроота, он показал, что хорошие шахматисты действительно показывают высокие результаты при воспроизведении осмысленных позиций, однако они не отличаются от новичков, если фигуры расставлены на доске в случайном порядке.

По оценкам Саймона, мастера при воспроизведении позиций запоминают в среднем 7,7 паттернов по 3,8 фигур в каждом. Игрок класса А (примерно 2-й разряд по отечественной классификации) воспроизводит 5,7 паттернов по 2,6 фигур. По мнению Саймона, результаты мастеров могут быть объяснены наличием у них в долговременной памяти порядка 50000 типичных паттернов позиций фигур на доске. Предполагается, что с каждым паттерном в памяти игрока ассоциируется определенный план действий, что и объясняет успешность мастеров и гроссмейстеров в нахождении хороших ходов.

Свою идею Саймон трактует широко: по его мнению, профессионалы в разных областях — управленцы, ученые, врачи и т. д. — в ре-



зультате многолетней практики образуют в своей долговременной памяти тысячи схем, позволяющих им структурировать явления в сфере их профессиональной деятельности. Эти схемы не являются знаниями в собственном смысле слова, они не формулируются и не осознаются субъектами. Схемы срабатывают очень быстро, за доли секунды, в результате чего профессионал «видит» наиболее существенные аспекты ситуации, быстро в ней ориентируется и запоминает.

Поскольку схемы не являются осознанными, они не могут быть сообщены одним человеком другому, а могут быть лишь выработаны в результате длительной тренировки. С этим же связана и проблема формулировки экспертом своих знаний, с которой столкнулись исследователи искусственного интеллекта, точнее экспертных систем.

Оказалось, что специалисты не могут сформулировать те принципы, на основании которых они принимают правильные решения на практике. Например, врачи, обладающие хорошими способностями в диагностике заболеваний, не могут передать свои навыки компьютеру, поскольку сами не вполне осознают, за счет чего они правильно ставят диагноз. С позиции Саймона, все это объясняется неосознанными схемами в долговременной памяти эксперта. Формирование набора схем в долговременной памяти после работ Саймона признается важной стороной мышления эксперта.

Как известно, навык — это автоматизированный элемент сознательного действия, который вырабатывается в процессе выполнения этого действия [41]. Любая профессиональная деятельность представляет собой сложный процесс и требует переработки большого объема информации. Для эффективной работы необходимо часть информации «вывести» из поля сознания и осуществить ряд действий автоматически. Эту функцию и выполняет навык.

Формирование любого навыка начинается с получения информации о состоянии среды в форме какого-либо сенсорного сигнала. Общая схема выработки навыка заключается в следующем. В процессе деятельности на человека многократно воздействуют сходные раздражители (например, выполняется однотипная производственная операция). Под влиянием раздражителей у оператора формируется определенная программа поведения реагирования на эти раздражители, которая закрепляется и «передается» на уровень подсознательного контроля. Эта программа не тождественна с единичным ответом в схеме рефлекса. Она представляет собой умение действовать в определенной ситуации с большой степенью приспособляемости к этой ситуации. Формирование профессиональных навыков про-

исходит не пассивно, а под влиянием специально фиксированных упражнений, включенных в систему профессиональной подготовки.

*Упражнение* — это основной способ закрепления навыка. Одним из важнейших практических вопросов является вопрос о количестве упражнений, необходимых для полной отработки навыка. Количество используемых упражнений зависит от скорости формирования психологической системы действия. Чем быстрее формируется психологическая система действия, тем меньше требуется упражнений.

Наличие у обучаемого психологической системы действия определяется по таким признакам, как: ясное осознание цели действия и наличие четкого мотива для его выполнения; наличие ориентированной основы действия в виде схемы необходимых и достаточных информационных признаков, на которые ориентируется учащийся при выполнении действия; частичная автоматизация действия; наличие системы обратной связи и сформированный на ее основе внутрениий самоконтроль выполнения действия; «запуск» системы саморегуляции действия, направленной на устранение недостатков и исправление ошибок; систематическое улучшение показателей качества работы и увеличение темпа деятельности.

Наличие данных признаков позволяет считать навык сформированным и закончить регулярные упражнения по его отработке. Однако если упражнения прекратить полностью и одновременно не выполнять действие, навык может постепенно разрушаться. Для его восстановления требуется новая серия упражнений.

Наиболее полную теорию психофизиологического механизма формирования сенсомоторного навыка предложил Н. А. Бернштейн [11]. Конструктивно дополнена эта теория была концепцией П. К. Анохина [3] и моделью поведенческого акта и анализом структуры психической функции, предложенным Б. Г. Ананьевым. Таким образом, на сегодняшний день имеются серьезные теоретические основы для разработки практических способов формирования навыков и включения их в систему профессиональной подготовки.

Промежуточный этап овладения новым способом действия на основе полученного знания, но не достигшего уровня навыка, называют умением. *Умение* — это значение, которое понятно обучаемым и правильно воспроизводится, выступая в форме правильно выполняемого действия и приобретшего некоторые черты оперативности. На этапе умения усвоенный способ действия регулируется значением, и по мере тренировки достигается преобразование умения в навык, при котором происходит изменение ориентировочной основы

действия. Умение включает в себя сложную систему психических и практических действий. При наличии умения под контролем сознания человек успешно выполняет то или другое действие. Результативное выполнение сложного действия и есть внешнее выражение выработанного умения.

Формирование умений, по мнению К. К. Платонова [86], проходит ряд стадий: первоначальное умение; недостаточно умелое действие; развиты отдельные умения (умелые, относительно закономерные моменты действия); высокоразвитые умения; мастерство.

На этапе умения полный сознательный контроль обеспечивает оперативную перестройку системно-структурированной основы действия при существенном нарушении условий его осуществления. В этом плане умение отличается от навыка. Навык имеет стандартизированную форму и при радикальном изменении условий осуществления может стать неадекватным. Важным свойством оператора является умение произвольно регулировать свое состояние, используя резервы собственного организма. При определенных условиях человек может научиться регулировать различные физиологические функции (пульс, давление крови и др.).

Кроме знаний, навыков, умений в процессе обучения необходимо сформировать ряд других качеств: эмоциональную устойчивость, самообладание, решительность.

Обучение должно быть индивидуализированным, т. е. у каждого человека должен сформироваться его собственный, индивидуальный стиль деятельности, соответствующий его способностям (темпераменту, инертности или подвижности нервной системы и т. п.).

Процесс обучения специалиста должен продолжаться до тех пор, пока обучаемый не выйдет на определенные уровни частоты ошибок, времени выполнения заданного алгоритма деятельности и относительной стабильности результатов.

Для количественной оценки периодичности тренировок операторов и продолжительности самих тренировок можно воспользоваться математической моделью, в основу которой положена формальная теория обучения, восходящая к К. Л. Халлу. Проблема обучения традиционно является одной из центральных в психологической науке. И хотя многие исследователи изучали разные объекты этой проблемы, наиболее сильное влияние на развитие монотонных асимптотических моделей обучения оказал К. Л. Халл. Он предположил, что высший (асимптотический) уровень навыка определяется рядом факторов, таких как интенсивность потребности, подкрепления,

условного стимула, а также временными характеристиками стимулов и реакций. Им введены были также постулаты относительно генерализации стимула и его угасания. На основе этих посылок, а также частных теорем об обучении различению, структурированию стимулов, их самопроизвольном восстановлении и других теорем К. Л. Халл получил основную формулу для расчета силы навыка:

$${}_sH_R = M(1 - e^{-iN}),$$

где  ${}_sH_R$  – ассоциативная переменная (сила навыка), связывающая стимул  $S$  и реакцию  $R$ ;  $M$  – предельное, асимптотическое значение силы навыка;  $N$  – число обучающих опытов;  $i$  – параметр скорости обучения;  $e$  – основание натуральных логарифмов.

Эта модель использует подход, предложенный А. Йостом, на основе развития теории двух следов памяти Мюллера-Пильцера. Для описания прочности следа или ассоциации  $z$  А. Йост использовал дифференциальное уравнение вида

$$\frac{dz}{dx} = \mu(\lambda - z), \quad (6.1)$$

где  $z$  – прочность следа или ассоциации;  $\mu, \lambda$  – некоторые константы для случая забывания;  $x$  – независимая переменная, в качестве которой может выступать время или число попыток заучивания  $n$ . Решение уравнения имеет следующий вид:

$$z = \lambda - (\lambda - z_0)\exp(-\mu x). \quad (6.2)$$

Это решение соответствует двум законам динамики прочности следа А. Йоста: 1) из двух ассоциаций равной прочности, но разного возраста более старая забывается медленнее; 2) приращение прочности следа, вызванное новым заучиванием, обратно пропорционально исходной прочности следа. Оба эти закона нашли широкое применение в когнитивной психологии и исследованиях научения.

Возвращаясь к обучению оператора, отмечаем, что обычно выход на стационарный уровень по быстродействию осуществляется быстрее, чем по безошибочности, поэтому удобно рассмотреть в первую очередь планирование тренировок для обеспечения безошибочности.

Установилось мнение, что уменьшение частоты ошибок в процессе обучения достаточно хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией

$$q_0 = q_c + (q - q_c)e^{-\alpha t}, \quad (6.3)$$

где  $q_0, q_c$  — начальное и стационарное значения частоты ошибок;  
 $\alpha$  — относительная скорость приобретения навыков безошибочной работы (коэффициент обучения);  
 $\tau$  — длительность обучения.

Аналогично процесс забывания, утраты навыков аппроксимируется выражением

$$q(t) = q_c + (q_0 - q_c)(1 - e^{-\beta t}), \quad (6.4)$$

где  $\beta$  — относительная скорость утраты навыков (коэффициент утраты навыков);

$t$  — время после использования навыка.

Как правило, приобретение навыков происходит быстрее, чем их забывание.

В экспоненциальных зависимостях (6.3), (6.4) очень часто  $\alpha\tau \ll 1$ ,  $\beta t \ll 1$ . Поэтому экспоненты в (6.3) и (6.4) можно разложить в ряды, сохранив лишь линейные члены и отбросив остальные. При этом получим уравнения:

$$q = q_0 - (q_0 - q_c) \alpha\tau; \quad (6.5)$$

$$q = q_c + (q_0 - q_c) \beta t. \quad (6.6)$$

Учитывая (6.3) и (6.4), процессы приобретения, утраты и восстановления навыков безошибочной работы можно изобразить на одном графике (рис. 6.1). Интервалы  $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \Delta\tau_3, \dots$  соответствуют процессам приобретения навыков, а интервалы  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$  — процессам утраты навыков безошибочной работы.

На графике, представленном на рис. 6.1, учтено, что в конце каждой тренировки удастся снизить частоту ошибок до значения  $q_{c1}$ , которое не всегда совпадает с  $q_c$ , обычно  $q_{c1} > q_c$ . Очередную тренировку назначают, когда частота ошибок достигает критического значения  $q_k$ .

Вначале рассмотрим идеализированную модель, предположив, что динамика приобретения, утраты и восстановления навыков безошибочной работы сохраняется неизменной. При этом для установившегося процесса функционирования можно вычислить среднюю по процессу относительную частоту ошибок. Для линейной модели

$$\bar{q} = \frac{\Delta t}{2}(q_k + q_{c1}). \quad (6.7)$$

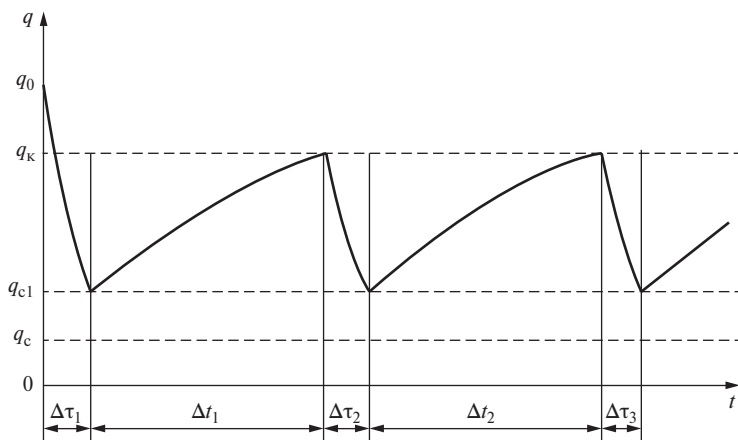


Рис. 6.1. Графическое изображение процессов приобретения, утраты и восстановления навыков безошибочной работы

Зная значения  $\beta$ ,  $q_{c1}$ ,  $q_K$ , можно из уравнения (6.4) или (6.6) найти допустимую продолжительность перерыва между тренировками. Например, из (6.6) имеем

$$\Delta t_{\text{доп}} = \frac{q_K + q_{c1}}{\beta(q_0 - q_{c1})}. \quad (6.8)$$

Возможны задачи, в которых известны не  $q_K$ , а ограничения на  $\bar{q}$ , например предельное значение  $\overline{q_{\text{пред}}}$ . При этом из (6.7) можно найти

$$q_K = \frac{2\overline{q_{\text{пред}}}}{\Delta t} - q_{c1}$$

и подставить в (6.8).

Представленную идеализированную модель можно рассматривать как первое приближение. В ней не учитывается, что с течением времени, т. е. с каждым последующим циклом тренировки, облегчается приобретение навыков, а их забывание затрудняется. Поэтому формулы (6.3) – (6.8) очень приближенно отображают действительность, обычно

$$\Delta \tau_{i+1} < \Delta \tau_i; \Delta t_{i+1} > \Delta t_i.$$

Для транспортных систем на основании периодичности рейсов может быть заранее задана или определена периодичность тренировок и известна скорость восстановления навыка  $\alpha$ , тогда из выражения (6.5) можно получить

$$\Delta t_{\text{доп}} = \frac{q_k + q_{cl}}{\alpha(q_0 - q_{cl})}.$$

Чтобы учесть эффект замедления утраты навыков, введем допущение о постоянстве относительной скорости забывания, т. е. о том, что в каждом очередном производственном цикле относительное замедление роста частоты ошибок постоянно:

$$\frac{d\beta}{dn} / \beta = -\chi.$$

При этом значение коэффициента утраты навыков

$$\beta = \beta_1 e^{-\chi n}, \quad (6.9)$$

где  $\beta_1$  – максимальное значение коэффициента утраты навыков (в первом цикле);

$n$  – накопленная сумма циклов;

$\chi$  – «постоянная обучения», характеризующая закрепление навыков. При  $\chi^n \ll 1$ , т. е. менее 0,1, можно считать

$$\beta = \beta_1 (1 - \chi n). \quad (6.10)$$

Подставив  $\beta$  из (6.9) в (6.4) или в (6.6), можно определить допустимую продолжительность  $\Delta t_{\text{доп}}$  перерыва между тренировками, соответствующую накопленному числу сумма циклов  $n$ . Например, для линейной модели

$$\Delta t_{\text{доп}}(n) = \frac{q_k + q_{cl}}{(q_0 - q_{cl})\beta_1} e^{\chi n}. \quad (6.11)$$

## 6.2. Характеристики современных тренажеров для подготовки операторов

Развитие современного общества предъявляет все более высокие требования к процессу подготовки и постоянному повышению квалификации специалистов. На первое место выходят как проблемы

доучебного тестирования и отсева кандидатов (профотбор), так и всемерное совершенствование подготовки приемлемой эффективности.

Тренажерные технологии сегодня – это сложные комплексы, системы моделирования и симуляции, системы визуализации, компьютерные программы и физические модели, специальные методики, создаваемые для того, чтобы подготовить человека к принятию качественных и быстрых решений, что станет весьма серьезной задачей и даже проблемой в будущем.

В современных тренажерах и в программах подготовки и обучения, основанных на них, закладываются принципы развития практических навыков с одновременной теоретической подготовкой, т. е. тренажер способен развиваться вместе с обучаемым. Реализация такого подхода стала возможна в связи с бурным развитием и удешевлением компьютерной техники и прогрессом в области создания технологий виртуальной реальности, машинного зрения, систем искусственного интеллекта и т.п. На базе этих технологий разработаны многочисленные тренажеры для военного применения, позволяющие имитировать боевые действия с высочайшей детальностью в реальном времени, создано множество приложений технологии виртуальной реальности для медицины, позволяющих проводить операции электронному пациенту с высокой степенью достоверности. По мнению компании Haskett consulting inc. (HCI), и это согласуется с данными экспериментальной психологии: «люди запоминают 20 % того, что они видят, 40 % того, что они видят и слышат и 70 % того, что они видят, слышат и делают». Понятно, что необходимым элементом эффективного обучения являются постоянные тренировки. По мере развития и удешевления тренажерные технологии начинают проникать и в другие отрасли: хозяйства, авто- и судовождение, школьное и вузовское обучение и прочее. Тренажерные и симуляционные технологии к настоящему времени сформировались в успешно развивающуюся отрасль мировой индустрии.

Тренажеры в водительских профессиях применяются достаточно продолжительное время и, учитывая игровые попытки их использования для получения и расширения навыков, дали положительные результаты. В работе Л. С. Нерсесяна и О. А. Конопкина [82] отмечалось, что применение тренажеров фирм Generul Presision Sistem (Великобритания) и Brown Boveri Co (Швейцария) позволило значительно (до 50 %) сократить продолжительность практического обучения машинистов.

Анализ современных существующих зарубежных и отечественных разработок позволяет сделать вывод о следующих конструктив-



ных особенностях железнодорожных тренажеров. Значительное внимание уделяется созданию видеоподсистем. Так, тренажер Eurostar французской фирмы EBIM, разработанный в 1991 году по заказу консорциума по использованию туннеля под Ла-Маншем, имеет модульную архитектуру, включающую в том числе и видеоподсистему. Угол обзора машиниста составляет 40°, визуализация движения осуществляется посредством генерации трехмерного изображения с частотой 25 кадров в секунду. Видеоподсистема контролируется специализированным вычислительным комплексом.

Тренажер локомотива EWS class 66 разработан в 2002 году. Тренажер состоит из макета локомотива class 66, включая элементы управления и контроля реального локомотива, базы данных, содержащей информацию о техническом устройстве участка протяженностью 80 км. Угол обзора машиниста составляет 40°. Имеется возможность визуализации обстановки (наличие дорожных рабочих и т. д.).

Тренажерный центр Virgin фирмы Corus разработан в 2001 году. Тренажер состоит из трех макетов скоростных локомотивов Voyager/Pendolino class 390, включает элементы управления и контроля реального локомотива, базу данных, содержащую информацию о техническом устройстве участка протяженностью 60 км. Угол обзора машиниста составляет 50°.

Тренажеры фирмы Dornier GmbH (Германия), больше известной в России своей авиационной техникой, по своим характеристикам схожи с упомянутыми выше. В них можно отметить видеоподсистему с углом обзора машиниста 90° по горизонтали.

Особый интерес для инженерной психологии представляет английская программа по изучению безопасности на железнодорожном транспорте (Railway Safety Research Programme), в которой разрабатываются спецификации на симуляторы для изучения влияния человеческого фактора и программа соответствующих исследований. В числе других требований к тренажерам выдвигается наличие высококачественных видео- и аудиовозможностей.

В отечественных ТМ в некоторых разработках для визуализации используется трехмерная графика. В частности, такой подход опробован при создании тренажера машиниста ТМ в рамках создания ЛТК «ВЖД» разработки Ростовского государственного университета путей сообщения. К недостаткам трехмерного моделирования следует отнести необходимость разработки трехмерной сцены на компьютере, что предполагает квалифицированную программистскую и дизайнерскую работу, кроме того, адекватное воссоздание участ-

ка значительной протяженности сопряженного значительным расходом материальных, людских и прочих ресурсов. Существуют и принципиальные ограничения: машинист может ориентироваться по каким-либо малозначимым элементам ландшафта и осуществлять проверку местности по деталям, которые не входят в состав трехмерной системы. К достоинствам трехмерного моделирования можно отнести возможность реконструкции внештатных и аварийных ситуаций. Также имеется возможность провести создание модели конструирования станции либо нового участка пути.

Альтернативой созданию трехмерных сцен является использование видеозаписи. В тренажере ТМ фирмы «Спектр» и ТМ в рамках создания ЛТК «ВЖД» этот подход является основным. Достоинствами этого подхода являются его относительная дешевизна, точность изображения деталей, к недостаткам — невозможность воспроизводить различные аварийные и экстренные ситуации, движение по боковым путям. Кроме того, значительных трудозатрат требует специальная разметка видеотеки по байт-коду для его связи с поездной обстановкой, сгенерированной в имитирующей системе тренажера.

### **6.3. Психолого-педагогические принципы построения тренажеров для подготовки диспетчерского состава**

В современной сверхбольшой эргатической системе (СБЭС), каковой является железнодорожный, авиационный транспорт, или энергосистема, имеется огромное количество составляющих ее систем и подсистем. Как уже отмечалось, СБЭС характеризуется сложной структурой, колоссальными потоками информации, высоким уровнем автоматизации. Чтобы эффективно и надежно функционировала СБЭС, в ее управлении задействованы большие коллективы специалистов, прежде всего диспетчеров-управленцев. Поэтому для полноценного обучения и тренировки диспетчеров необходимо создавать тренажерные комплексы, которые бы позволили имитировать именно реальную групповую деятельность.

Основными формами взаимодействия диспетчерского состава железнодорожного транспорта является взаимодействие при решении мыслительных задач, психомоторное взаимодействие (осуществление совместных управленческих действий), коммуникативное взаимодействие.

Взаимоотношение в диспетчерской группе имеет ряд особенностей, среди которых можно выделить следующие:

1. Поездные диспетчеры (ДНЦ) пространственно изолированы от станционных (ДСП).

2. В решении основной групповой задачи — эффективного и безопасного управления движением — все возрастающая роль принадлежит ресурсным техническим средствам, прежде всего ЭВМ с разнообразным программным обеспечением. Однако это не отменяет значимости речевого общения в процессе выполнения совместной работы.

3. Результат решения задачи по управлению движением зависит не только от уровня индивидуальной подготовки диспетчеров, но и от их способности к совместному решению задачи в рамках функционально единого, но пространственно разнесенного сенсорного поля.

При построении тренажерного комплекса для подготовки и аттестации диспетчерского состава необходимо прежде всего учитывать организацию деловых взаимоотношений в группе диспетчеров при управлении реальным перевозочным процессом, распределением функций специалистов в группе, организацией взаимосвязи между ними. Диспетчерская группа имеет ряд особенностей, определяемых характером конкретных задач по управлению движением, решаемых группой. Если рассматривать взаимодействие в группе «поездной диспетчер — дежурные по станции», то функциональная группировка этой малой группы выглядит как сочетание «звезды» с «кругом» (рис. 6.2).

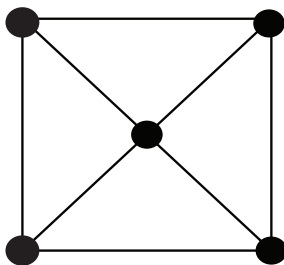


Рис. 6.2. Структура диспетчерской группы ДНЦ-4ДСП

Эффективное протекание диспетчерской групповой деятельности во многом зависит от того, насколько ее официальная структура совпадает с неофициальной.

Поездной диспетчер, будучи официальным лидером, в обязательном порядке, как ни в каком другом производственном коллективе,

должен быть и ее неформальным лидером. Он должен обладать высочайшей степенью как профессиональной, так и личной авторитетности среди всех членов группы. Обучение ДСП/ДНЦ проводится на базе тренировочного центра, который представляет комплекс программно-аппаратных средств и моделей, имитирующих работу систем, связанных с управлением движением поездов и обеспечением безопасности движения. Именно такой комплекс эксплуатируется в Дальневосточном госуниверситете путей сообщения.

Условия работы таких центров требуют применения технологий сетевого и межсетевого взаимодействия, обеспечения высокой степени реалистичности моделируемых процессов, адаптивности, информационной оснащенности. В таких центрах должны соблюдаться инженерно-психологические требования: дружелюбный интерфейс, надежность и восстанавливаемость.

Пользователь-оператор должен испытывать простоту общения с тренажером вне зависимости от того, насколько сложна сама система. В зависимости от целей и содержания тренажерные комплексы для обучения диспетчерского состава подразделяются на специализированные и комплексные. В тренажерах этого типа должно быть обеспечено максимальное соответствие смыслового содержания поступающих к оператору сигналов реальным процессам и событиям.

Специализированные (канальные) тренажерные комплексы используются, как правило, на первоначальном этапе подготовки, связанном с ситуационными тренировками освоения управления технологическими процессами в нормальных и аварийных режимах. Примером такого тренажера является компьютерная модель станции и аппарата управления ДСП.

Комплексный тренажер отличается наличием полномасштабной имитационной системы, охватывающей все подсистемы объектов, входящих в информационный и функциональный набор в объекте, определенном в его структуре. Тренажеры этого типа используются на втором этапе тренировочного процесса, когда необходимо сформировать умение и навыки целостной профессиональной деятельности.

#### **6.4. Психологические принципы применения тренажеров**

Психологическое обоснование применения обучающих тренажеров обеспечивается теорией переноса навыков. Сформированные у оператора навыки существуют не изолированно друг от друга, они

неизбежно вступают во взаимодействие. При этом «старые» навыки в одних случаях способствуют овладению «новыми» (положительный перенос навыков), в других — тормозят их образование (интерференция навыков). Учет взаимодействия навыков особенно важен тогда, когда оператор, овладевший одним видом техники, начинает овладевать другим. В условиях технического прогресса идет постоянное совершенствование техники, что требует также постоянного доучивания и переучивания оператора. При их организации важно заранее точно определить, какое влияние сформировавшиеся навыки могут оказать на те, которые предстоит формировать. Для этого необходимо знать основные условия взаимодействия навыков, т. е. их перенос и интерференцию.

Основным условием переноса навыков является во многих случаях сходство или даже тождество выполняемых рабочих движений, причем перенос особенно успешно происходит в том случае, если человек ясно понимает и может обобщить черты сходства нового и старого навыков. Другое условие переноса состоит в том, что любой навык, которым овладевает человек, оказывает общее влияние на его психику. Успешное обучение одному навыку создает уверенность в своих силах, повышает интерес к работе. Однако взаимодействие навыков включает не только перенос, но и интерференцию (отрицательную цену) или нулевой эффект (отсутствие переноса). Одна из причин ее — так называемое ассоциативное торможение. Идея интерференции состоит в следующем: информация — старая или новая — каким-то образом затрудняет воспроизведение другой информации, хранящейся в долговременной памяти (ДВП) человека. ДВП состоит, как это показано в современной когнитивной психологии, из сложных ассоциативных структур, ассимилирующих огромное количество новой информации, и в этой способности, как пишет Р. Солсо [108, 109], заключен парадокс: новая информация, легко приспособляемая к хорошо организованным когнитивным структурам, может затемнять информацию, вплетенную в эти структуры ранее. Практическую значимость учета интерференции можно проиллюстрировать тем, что именно она стала причиной авиационной катастрофы 7 сентября 2011 года под Ярославлем с самолетом ЯК-42.

В психологии изучены условия преодоления интерференции. К ним относятся: 1) прочность «старого» навыка: чем прочнее он усвоен, тем быстрее преодолевается его отрицательное влияние на новый; это объясняется тем, что движения, входящие в прочный навык, очень хорошо специализированы; 2) сознательное усвоение нового

навыка: чем точнее человек проанализирует особенности движений, характерных для нового навыка, тем быстрее он преодолеет отрицательное влияние «старого», перестроит его.

Работа на тренажерах преследует цель — формирование у обучаемых соответствующих навыков и умений. Но для того чтобы после подготовки на тренажере произошел положительный перенос навыка на практическую деятельность, необходим учет ряда требований, при соблюдении которых тренажер может дать необходимый эффект:

- образование из отдельных разрозненных движений (или других трудовых актов) двигательных или умственных структур;

- выявление человеком сигналов, релевантных к определенной деятельности;

- изменение соотношения уровней регуляции, за счет чего изменяется уровень сознательного контроля: сознанием контролируется не каждый элемент действия, а все действие в целом; усвоение ритма выполняемых действий, что позволяет осуществлять оператору работу длительное время без утомления.

Говоря о процессе переноса, следует отметить: утверждение о том, что основным условием переноса навыков является сходство или даже тождество выполняемых рабочих движений, совсем не обязательно означает ухудшение результатов выполнения задания или положительный перенос навыков. Взаимодействие между первой и второй задачей может быть значительно сложнее.

Эффективность применения тренажеров существенным образом может быть повышена, если при их построении будут учтены следующие психофизиологические и психолого-педагогические принципы процесса обучения. Основные из них сводятся к следующему:

- навыки, развиваемые на тренажере, по своей структуре должны соответствовать навыкам реальной трудовой деятельности;

- тренажер не должен формировать тех навыков, которые дают отрицательный эффект при переводе в реальные условия деятельности;

- информационная модель, создаваемая на тренажере, должна быть достаточно пластичной и обеспечивать задание необходимо для последующей практической деятельности логических задач;

- в тренажере должна быть обеспечена имитация отказов и неисправностей, которые могут произойти в системе «человек-машина»;

- в тренажере следует предусмотреть возможность регистрации всех действий оператора с точки зрения их безошибочности и своевременности.

Кроме общепсихологических требований для полноценного обучения машинистов электровозов, как и других операторов, существует и ряд специфических требований. Эти требования следующие:

1. Навыки, развиваемые на тренажере, должны по своей структуре соответствовать навыкам вождения. В тренажере главное — функциональная близость деятельности. Стремление во что бы то ни стало приблизить внешний вид тренажера к реальной технической системе может оказаться совершенно бесполезным, если дело ограничивается лишь чисто внешним подобием.

2. Тренажер должен предусматривать возможность введения независимых, меняющихся по величине отклонений режимов и параметров системы для устранения их обучаемыми. Самая сложная кабина локомотива, оснащенная работающими контрольными приборами, оказывается малополезной для тренировки до тех пор, пока не будет создана возможность вводить в показания этих приборов неожиданные отклонения, которые тренирующийся должен вовремя замечать и соответствующим образом на них реагировать.

3. Тренажер должен обеспечивать тренируемому возможность воспринимать результаты своих действий. Это требование основано на известном в психологии факте, что навык может полноценно развиваться только тогда, когда обучающийся видит результаты своих действий и оценивает характер и величину совершаемой ошибки. Поэтому необходимо, чтобы тренажер имел объективную регистрацию результатов деятельности обучаемого в процессе тренировки. Такая регистрация необходима для количественной оценки хода развития тех или иных компонентов водительского навыка.

4. В тренажере необходимо обеспечить контроль состояния оператора, чтобы учитывать, с какой психологической напряженностью производится оператором его деятельность по управлению транспортным средством.

5. Методика работы на тренажере должна предусматривать достаточное количество практических упражнений. Без этого даже самый совершенный тренажер превратится в наглядное пособие: он будет способствовать пониманию и запоминанию чего-либо, но он не сможет сформировать и усовершенствовать водительский навык.

6. В тренажере необходимо предусмотреть возможность режимов автоматического, полуавтоматического и ручного управления. Это положение приобретает особое значение в условиях совместного управления объектом человеком и автоматическим устройством, что наблюдается сейчас в связи с автоведением и автодиспетчиро-

ванием на железнодорожном транспорте. Здесь мы сталкиваемся с серьезной психологической проблемой, связанной с тем, что при выполнении автоматических режимов управления в стационарных нормативных условиях оператор (машинист-диспетчер) находится в состоянии пассивного участия. Такое положение в случае большой длительности автоматического режима осложняет последующий период к полуавтоматическому или ручному управлению. Естественно при управлении железнодорожным транспортом невозможно искусственно вводить нерасчетные ситуации. В определенной степени и для нормативных условий искусственный ввод полуавтоматических или ручных режимов управления не всегда целесообразен. Но эти режимы необходимо предусматривать при проектировании тренажеров, т. к. непосредственное участие оператора позволит ему не терять активность и связанные с ней бдительность, готовность к экстренным действиям.

В этой связи рассмотрим некоторые вопросы количественной оценки выбора оптимальной частоты подачи искусственных сигналов при отсутствии реальных оперативных задач. В работах В. Н. Пушкина и Л. С. Нерсесяна [82, 96, 98] было показано, что одно из важнейших проявлений уровня природной активированности нервной системы оператора — способность поддерживать готовность к экстренному включению в управление при длительном отсутствии значимых сигналов. Скорость снижения показателя готовности индивидуальна, поэтому подбор частоты контроля готовности и предъявление искусственных аварийных сигналов в целях ее повышения должны осуществляться по принципам индивидуальной и индивидуально-оперативной адаптации.

В тех случаях, когда оператор боится автомат на случай его отказа, надежность системы управления условно может быть представлена в виде суммы надежности автомата и готовности человека к включению в активное управление. Очевидно, что так может рассматриваться надежность системы только в отношении тех функций автоматики, которые способен на достаточном уровне выполнять человек. К таковым случаям, естественно, относятся важнейшие для транспортных систем и для железнодорожного транспорта особенно оперативные задачи по вождению поездов и диспетчерскому управлению на участке, т. е. там, где реально присутствует взаимное резервирование оператора и автоматики в процессе управления. При этом мы не касаемся случаев принятия решений в сложной обстановке, являющихся в настоящее время исключительной прерогати-



вой человека. Теперь, когда нами выделены функции, усиленные и для человека, и для автомата, то условно отождествим понятия его надежности и готовности.

Рассмотрим изменение надежности системы человек-автомат на графике (рис. 6.3), качественно отражающем результаты наблюдений большого числа авторов. Пусть надежность автомата описывается кривой  $Q_a$ . В момент  $t_1$  автомат отказал. При отсутствии в системе человека-оператора надежность системы в интервал времени  $t_1-t_2$  обратилась бы в нуль до восстановления автомата. Однако при отказе автоматических устройств оператор принимает управление на себя и для интервалов  $t_1-t_2$  и  $t_3-t_4$   $Q_{сч*а} = Q_c$ . Величина  $Q_c$  в моменты  $t_1, t_3, t_8$  определяет вероятность продолжения функционирования системы управления при отказах автомата. Величина  $Q_c$  обратна субъективной априорной вероятности отказа автомата в текущий интервал. В начале работы новой системы, когда сбой автомата заведомо вероятны, надежность человека, его готовность быстро включиться в управление высока (точка а»).

Если в течение достаточно длительного времени сбоев нет (нет сигналов о нарушениях режимов, отсутствуют оперативные задачи),  $Q_c$  несколько снижается (точка б»). Сразу после ликвидации нарушений (после интервала  $t_1-t_2$ )  $Q_c$  высока и примерно соответствует начальному уровню. Если интервал  $t_2-t_3$  достаточно велик, то в момент  $t_3$   $Q_c$  опять будет слишком низка, вследствие чего и  $Q_{сч*а}$  в момент сбоя автомата может оказаться недостаточной.

Анализ динамики готовности операторов при длительном отсутствии оперативных задач указывает на необходимость имитации таких задач путем преднамеренных, неожиданных для оператора отключений автоматики, имитации с помощью тренажерной системы аварийных ситуаций. Решение таких задач помогает не только повышать, но и периодически контролировать готовность оператора. Возвращаясь к рис. 6.3, отметим, что тренировки в моменты  $t_5, t_6, t_7$  позволяют поддерживать  $Q_{сч*а}$  на высоком уровне, несмотря на понижение  $Q$  в конечный период срабатывания технического ресурса.

Дальнейшее изложение мы будем проводить, ориентируясь на работу В. Ф. Венда [19], при этом следует помнить, что моделирование искусственных аварийных ситуаций в случае транспортных систем производится в условиях тренажерной подготовки.

В отсутствии реальных оперативных задач рассмотрим влияние длительности перерывов между контрольными испытаниями на надежность системы оперативного управления в отношении контро-

лируемых функций. Плотность вероятности отказа оператора при возникновении аварийной ситуации  $A$  обозначим через  $\varphi_0(z)$ , а плотность вероятности возникновения  $A$  с момента включения оператора в систему — через  $\xi(q)$ . Тогда плотность вероятности аварий на объекте  $m_1(t)$ , очевидно, можно представить как свертку двух предыдущих функций:

$$m_1(t) = \int_0^t \xi(t-z)\varphi_0(z)dz. \quad (6.12)$$

Для простоты примем поток аварийных возмущений на объекте (под объектом следует понимать как состояние транспортного средства, например электровоза, так и состояние определенной транспортной подсистемы, например находящейся под диспетчерским управлением) простейшего типа с параметром  $\mu$ . Тогда

$$\xi(q) = \mu \exp(-\mu q). \quad (6.13)$$

В изображениях по Лапласу

$$m_1^*(p) = \xi^*(p)\varphi_0^*(p), \quad (6.14)$$

или

$$m_1^*(p) = \frac{\mu\lambda}{(p+\mu)(p+\lambda)}, \quad (6.15)$$

где  $\lambda$  — параметр потока отказов человека-оператора. На основании интегрального уравнения восстановления получим

$$\mu_1^*(p) = \frac{m^*(p)}{1 - m^*(p)}, \quad (6.16)$$

где  $\mu_1^*(p)$  — изображение по Лапласу параметра потока аварий  $\mu(r)$  для постоянного интервала между контрольными испытаниями  $(0, N)$ .

Термин «восстановление» применительно к человеку-оператору в данном случае используется для обозначения эффекта от возникновения некоторой аварии на объекте (пусть даже искусственной — имитированной тренажерной системой), состоящего в повышении бдительности оператора, уяснении им путей предупреждения и ликвидации подобных аварий, в целом — в определенном возрастании надежности человека-оператора. Такое изменение является средством активности человека в процессе уяснения и решения возникшей перед ним оперативной задачи. Таким образом, целью кон-

трольных (тренировочных) аварий будем считать восстановление человека-оператора.

Следовательно, в момент  $N$  система оперативного управления по показателю надежности (готовности) оператора приходит в состояние, эквивалентное исходному. Надежность системы в целом определяется, естественно, еще и надежностью ее машинного звена и, таким образом, может отличаться от исходной даже при восстановлении готовности человека-оператора (см. рис. 6.3).

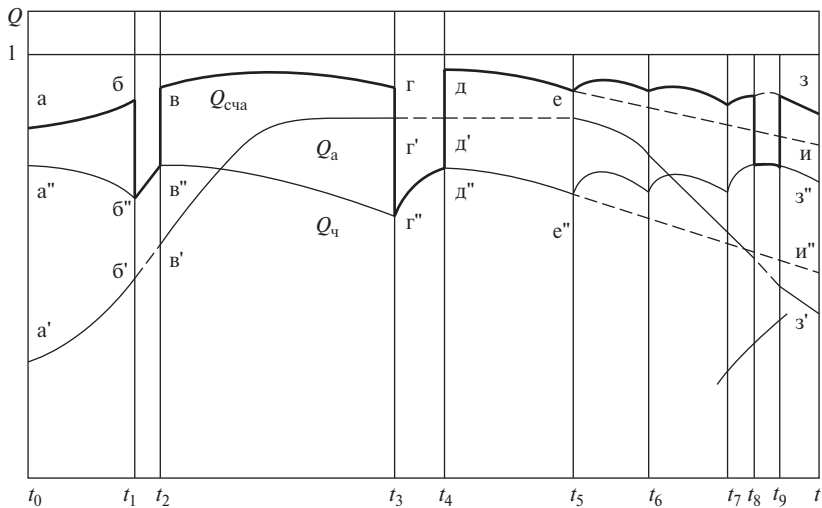


Рис. 6.3. Динамика надежности системы человек-автомат

Примем, что поток испытаний на произвольном интервале  $(0, t)$  представляет собой периодическую функцию

$$\mu_2(t) = \mu_1(t - yN), \quad (6.17)$$

где  $y = [t/N]^2$  — целая часть частного  $t/N$ .

В изображении по Лапласу

$$\mu_2^*(p) = \frac{1}{1 - e^{-2p}} \int_0^N e^{-\tau p} \mu_1(\tau) d\tau. \quad (6.18)$$

Из формулы (6.17) получим выражение для плотности вероятности первой аварии:

$$m_1^*(p) = \frac{\mu_1^*(p)}{1 + \mu_1^*(p)}. \quad (6.19)$$

Начальные моменты порядка безаварийной работы находятся по известной формуле

$$d_n = (-1^n) \lim \frac{d^n m_1^*(p)}{dp^n}. \quad (6.20)$$

На основании выражений (6.18)–(6.20) рассчитывается среднее время  $T$  и дисперсия времени безаварийной работы:

$$\begin{aligned} \bar{T} &= \frac{N}{\int_0^{\infty} \mu(\tau) d\tau}; \\ \bar{\sigma}^2 &= \bar{T}^2 \left\{ 1 - \frac{z}{N} \int_0^N \tau \mu_1(\tau) d\tau \right\} + TN. \end{aligned} \quad (6.21)$$

Из выражений (6.16) и (6.18) получим развернутое изображение по Лапласу

$$\mu_1^*(p) = \frac{\mu\lambda}{(p+\mu)(p+\lambda) \left[ 1 - \frac{\mu\lambda}{(p+\mu)(p+\lambda)} \right]} = \frac{\mu\lambda}{(p+\mu)(p+\lambda) - \mu\lambda}. \quad (6.22)$$

Из выражения (6.22) видно, что знаменатель выражения (6.21) имеет один нулевой корень, а второй лежит в левой полуплоскости комплексного переменного. Для любого простого корня

$$\bar{T} = \frac{N(\lambda + \mu)}{\mu\lambda \left[ N + \frac{Q(p)}{pQ(1-p)} (1 - e^{-pN}) \right]} \quad (6.23)$$

или приближенно в более удобном для использования и анализа виде при малых  $N$  можно принять  $\bar{\sigma}^2 \approx \bar{T}^2$ .

Теперь допустим, что необходимо прогнозировать готовность человека-оператора включаться в работу при сбое автомата в течение интервала  $N = t_{n+1} - t_n$ . Пусть вероятность успешного включения оператора в работу  $Q_q$ ; соответственно вероятность отказа оператора  $p_q = 1 - Q_q$ .

Допустим, что известна плотность распределения отказов оператора  $r_q$ .

Очевидно, что

$$p_q = \frac{\int_{t_n}^{t_{n+1}} r_q(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} r_q(t) dt} = \frac{\int_T^{T+N} r_q(t) dt}{\int_T^T r_q(t) dt}. \quad (6.24)$$

Распределение отказов

$$R(t) = \int_{-\infty}^T r_q(t) dt, \quad (6.25)$$

а с учетом  $r_q(t) = 0$  при  $t < 0$

$$R(t) = \int_0^T r_q(t) dt. \quad (6.26)$$

Отсюда:

$$R_q = \frac{R(t_{n+1}) - R(t_n)}{1 - R(t_n)} = \frac{R(T + N) - R(T)}{1 - R(T)}, \quad (6.27)$$

$$Q_q = \frac{1 - R(T + N)}{1 - R(T)}; \quad (6.28)$$

$$R(T + N) = 1 - Q_q + Q_q R(t); \quad (6.29)$$

$$R(T + N) = R_q [(1 - p_q) R(t)]. \quad (6.30)$$

Функция распределения отказов оператора на интервале  $N$ :

$$F(p_q T) = p_q + [(1 - p_q) R(t)]. \quad (6.31)$$

Сопоставляя выражения (6.22), (6.27), (6.28), (6.29), (6.30) и (6.31), видим, что, уменьшая интервалы между тренировочными аварийными испытаниями, мы повышаем надежность оперативного управления, увеличиваем среднее время безаварийной работы системы. В то же время соответственно увеличивается дисперсия времени безаварийной работы, т. е. разброс отдельных значений времени безаварийной работы относительно его среднего значения  $T$ . Кроме того,

тренировочные испытания могут стать помехой основной деятельности оператора, что нежелательно даже при тренажерной подготовке.

Подобным образом можно найти верхнюю границу частоты создания активирующих ситуаций для каждого оператора. Причем целесообразно предусмотреть несколько вариантов контроля готовности: 1) оператор самостоятельно может включить программу создания таких ситуаций; 2) такую программу включает специальная подсистема.

Наконец, должна присутствовать развитая адаптивная система обучения оператора, которая бы позволила оптимизировать процесс формирования навыков и умений.

Реализация вышеперечисленных требований не всегда в полном объеме находит отражение в создании тренажных комплексов, моделирующих деятельность оператора в АСУ. Блок-схема одного из первых универсальных многоцелевых тренажно-моделирующих комплексов, отвечающего как инженерно-психологическим, так и дидактическим требованиям, приводится в работе В. М. Ахутина [8]. Она включает системы моделирования внешней обстановки; моделирования динамики управляемого объекта; анализа операторской деятельности; анализа психофизиологического состояния оператора; оценки «стоимости» результата для исполнителя; реализации различных режимов работы. Система оценки стоимости результата включает специальный канал индикации для обучаемого, что дает ему возможность самоконтроля в тренировочных условиях. Подобный тренажно-моделирующий комплекс позволяет проводить процесс тренировки операторов в соответствии с требованиями программированного обучения, в частности, используя последовательный стадийный метод подготовки.

Однако, как мы отмечали выше, представляется целесообразным, чтобы программное обеспечение тренажно-моделирующих транспортных комплексов и методики подготовки обеспечивали освоение моделируемых на тренажерах действий не только в штатных, но и в аварийных ситуациях, возникающих при отказах техники.

Кроме того, как справедливо отмечают В. А. Бодров и В. Я. Орлов [13], необходимо предусмотреть развитие качеств, обеспечивающих решение нестандартных проблемных ситуаций и лежащих в основе сенсорно-перцептивного, интеллектуального, психомоторного регулирования, управления действиями и их структурами, характерных для определенной совокупности операторских задач.

Сравнительно новым, перспективным направлением в области технических средств обучения операторов является создание адап-

тивных и игровых тренажеров. Отметим, что в последнее время проявляется интерес к построению адаптивных тренажеров [106]. В адаптивном тренажере обеспечивается автоматическое изменение алгоритма обучения в зависимости от успехов обучаемого; стратегия обучения выбирается с учетом его индивидуальных способностей. В таком тренажере накапливаются данные об уровне подготовки оператора и выбирается такой способ представления нормальных или аварийных ситуаций, при котором обеспечивается максимальное их усвоение. При выборе переменных программ работы тренажера учитываются не только текущие действия оператора, но и вся «предыстория» его обучения и тренировок. Варианты построения адаптивных тренажеров для подготовки операторов в авиации и атомной энергетике рассмотрены в работах [38, 72]. Однако значимость таких тренажеров для подготовки операторов железнодорожного и других видов транспорта требует проведения более тщательного исследования.

## **6.5. Адаптивные системы в тренажеростроении**

Адаптивные системы позволяют учитывать индивидуальные особенности операторов, уровень развития и особенности обучения в течение всего учебного процесса. Эти системы обучения предполагают возможность управления усвоением не только по конечным достигаемым результатам, но и по заранее выделенным параметрам процесса, определяющим его условия. При подготовке различных специалистов железнодорожного транспорта — диспетчеров, дежурных по станции, машинистов электропоездов — требования к адаптивным обучающим системам будут различными.

Г. Паск [157], характеризуя специфику адаптивных обучающих систем, отмечал, что их основная задача в отличие от других типов машин заключается в том, чтобы стабилизировать систему «человек-машина» и использовать специально подготовленную программу или структурную схему с целью направленного изменения поведения человека. Машина в этом случае выступает в качестве специального механизма управления. Существенным, на наш взгляд, является то обстоятельство, что при описании человека в его взаимодействии с машиной, человек не должен рассматриваться как некий «черный ящик», что было характерно для бихевиористского или для упрощенного кибернетического подходов. Он должен рассматриваться не только и не столько сенсорными входами (зрение, слух,

осязание), но и другими важными когнитивными структурами, прежде всего вниманием, выделяющим объекты познавательной деятельности. Соответственно и ответ в большинстве случаев не может быть описан только в виде некоторых реакций, а предполагает использование определенной системы знаков, с помощью которых описывается и интерпретируется ситуация и осуществляется общение между человеком и обучающей машиной.

Однако не только ограничения языкового характера или недостаток прочных знаний мешает продуктивному взаимодействию человека и компьютерной обучающей системы.

На пути внедрения адаптивных обучающих систем возникает ряд трудностей.

Во-первых, трудности чисто технического плана: трудности общения с вычислительной машиной с точки зрения разработчика и программиста во время проектирования и реализации системы.

Во-вторых — это трудность общения между реализованной системой и ее пользователем-обучаемым или учителем (в зависимости от того, какую роль человек играет во взаимодействии с машиной).

В-третьих, и это, пожалуй, самое важное: для многих практически важных задач принципиально значимым является понимание того, как человек решает задачу. Мы уже упоминали о том, что исследователи в области искусственного интеллекта (ИИ) столкнулись с проблемой, когда специалисты в различных областях профессиональной деятельности не могут сформулировать принципы, на основании которых они принимают правильные решения на практике. И здесь в первую очередь следует указать на работу поездных диспетчеров.

Так, разработчики автоматизированных систем, пытаясь изучить работу поездного диспетчера, не могут понять, каким образом он принимает решение. Самое интересное, что сам диспетчер не может это объяснить. Конечно, это обстоятельство не означает, что большое число задач принятия решений не может быть формализовано, прежде всего, это задачи оптимизации, т. е. задачи принятия оптимальных решений.

Для структурированных навыков, а к таковым следует отнести навыки вождения электропоездов, автомобилей, самолетов и т. д., в теории адаптивного обучения существует следующий понятийный аппарат, а именно: тип задачи, упрощение, «фактор ошибки», индекс скорости обучения, и существование различных подвидов навыка. Более того, можно говорить о существовании различных связей между этими понятиями: например, утверждать, что положительный пе-



ренос умения (то есть факт, что умение решать одну задачу помогает обучаемому усвоить метод решения другой) действительно имеет или не имеет место для различных типов задач; что отрицательный перенос умения (понятие, обратное положительному переносу умения) имеет или не имеет место.

Также можно утверждать, что даже в отсутствии отрицательного переноса умения имеется или не имеется непосредственная интерференция между решением ассоциированных типов задач в том смысле, что осуществление одного навыка интерферирует с осуществлением другого до тех пор, пока в процессе обучения не будет приобретен метод решения задач более высокого порядка, и, наконец, что один навык обязательно должен быть усвоен еще до усвоения второго. Однако нет необходимости знать количественную сторону этих связей, и обычно она зависит от индивидуальных различий, выявляемых адаптивной обучающей машиной.

Дальнейшее изложение теории адаптивного обучения будем производить в тесной связи с практической реализацией на примере разработанной нами адаптивной методики изучения индивидуальных особенностей сенсорно-перцептивных характеристик человека и формирования у него навыка перцептивной идентификации полярного сигнала в условиях помех.

В этой связи логично предположить, что адаптивная машина должна обучать этому навыку перцептивной идентификации, состоящему из различных поднавыков, и что положительный (но не отрицательный) перенос умения имеет место между типами задач, характеризующими каждый из этих поднавыков. При этом также предположим, что обучение определенному поднавыку, скажем  $i$ -го типа ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), влечет за собой решение задач  $i$ -го типа. Исходя из этих предположений, можно заключить, что хотя скорость обучения будет критически зависеть от частоты повторения поднавыков, порядок их повторения не будет заметно влиять на скорость при условии, что каждый поднавык повторяется хотя бы один раз за данный отрезок времени (который всегда меньше по сравнению с продолжительностью всего режима обучения).

Рассмотрим основные идеи, идущие от Г. Паска [157], которые, на наш взгляд, чрезвычайно актуальны при разработке адаптивных тренажеров на транспорте.

Адаптивная машина сродни партнеру в особого рода диалоге. В частности, она обладает способностью «выявлять» характерные особенности обучаемого для того, чтобы «научить» его. Для всех

«обучающих» машин, используемых в качестве механизмов управления, справедливо, что должна существовать некая модель управляемого процесса, дабы обеспечить каркас, в рамках которого может происходить «обучение».

Одна из возможных стратегий нахождения действительных параметров оператора — это стратегия случайного варьирования параметров (с регистрацией результатов в памяти, чтобы могли быть выбраны наиболее выгодные вариации) — оказалась, как хорошо известно, непрактичной. Более того, если объектом является человек, этот метод становится невозможным, ибо, как уже было показано, коммуникативная система «человек-машина» (внутри которой имеет смысл вариация параметров) должна активно поддерживаться обучающей машиной. Поэтому устройству не представляется никакой возможности для продолжительного экспериментирования, которое потребовалось бы для обнаружения таких далеко не очевидных фактов, как действительные «параметры» оператора.

Эти факты и общие принципы — как машине следует изучать оператора — должны быть заложены в устройство с самого начала. В вычислительной технике такие заявляемые ограничения и образуют программу (но каждая программа может продуцировать много различных режимов обучения, зависящих не только от непосредственно предшествующего ответа оператора, как в системе М. Краудера, но также и от адаптивных изменений, происходящих в обучающей машине).

Напомним читателю, что система М. Краудера предусматривает использование для управления индивидуальным процессом усвоения типичных ошибок, допускаемых обучаемыми в процессе выполнения учебного задания. Редуцированным вариантом такой системы, который сводит ее обучающие возможности к контролю, является всем хорошо известный ЕГЭ.

В разработанной нами адаптивной системе изучения индивидуальных особенностей сенсорно-перцептивных характеристик человека задачи любого данного типа унитарны и гомогенны в том смысле, что любая последовательность задач  $i$ -го типа, выбранная для повторения, будет иметь результатом ту же самую среднюю скорость правильных ответов, что и любая другая последовательность задач  $i$ -го типа. Так будет только в том случае, если задачи унитарны в том смысле, что на решение каждой из них не оказывают влияние другие задачи, предъявленные для решения.

Данное существенное обстоятельство было нами проверено в серии предварительных экспериментов, в которых изучалось среднее

время ответов при предъявлении стимульных последовательностей, в которых варьировались время экспозиции, яркость помех, размер цели. Отсюда следует, что в адаптивной системе порядок, в котором предъявляются задачи данного типа, является несущественным, и, следовательно, как только выбран конкретный поднавык, можно создать режим обучения с помощью предопределенной и произвольной последовательности отобранных элементов. Далее, так как не достигается никакого преимущества от предвидения следующего события в этой создаваемой последовательности, относительная неуверенность обучаемого (которая по мере обучения уменьшается), возникающая при предъявлении некоторой задачи, является неуверенностью относительно решения именно этой задачи, а, скажем, не следующей. Наконец, не будет большим преувеличением предположить, что каждому поднавыку свойствен один-единственный «фактор ошибки», что позволяет рассмотреть процедуру упрощения одного вида для каждого поднавыка.

Не вызывает сомнения, что эту простую модель, применимую к такому ограниченному случаю, как изучение индивидуальных особенностей сенсорно-перцептивных характеристик человека-оператора, можно использовать без затруднений для понимания всего диапазона «структурированных навыков».

При создании адаптивной машины недостаточно определить только конечное поведение обучаемого, но также необходимо предусмотреть набор методов решения задач. В результате адекватная модель оператора (машиниста электровоза, дежурного по станции и т. д.) должна иметь по крайней мере два компонента.

Во-первых, должна существовать модель поведения, описывающая такие физические события, как отбор стимулов и ответов, и правила, определяющие верный ответ. Во-вторых, эта часть модели может также содержать правила адаптации, она может быть расчленяемой (в том смысле, что стимулы могут быть отнесены к типу, характеризующему данный поднавык в зависимости от вызываемой ими адаптации). Наконец, она включает в себя физические процедуры, которые модифицируют стимулы для того, чтобы посредством упрощения произвести другие стимулы.

Затем должен существовать алгоритмический или вычислительный компонент модели, который описывает задачи различных типов, решения этих задач и частичные решения. Эта часть модели может также содержать правила, определяющие конструирование алгоритмов решения задач (слово «алгоритм» употребляется здесь в значении

хорошо определенной процедуры), и другие правила, уточняющие, какие алгоритмы могут считаться приемлемыми.

Связь между этими компонентами есть не что иное, как связь, существующая между моделируемым вычислительной машиной искусственным интеллектом или программой решения задач, и механизмом управления, в рамках которого данный искусственный интеллект осуществляет необходимые вычисления. Поэтому будет удобнее называть, как считает Г. Паск, один компонент искусственным интеллектом, или ИИ-моделью, а другой — моделью устройства управления, или УУ-моделью. Очень важно признать, считает Г. Паск, что, хотя эти модели *связаны*, они *не идентичны*. Получается, что стимулы режима обучения (которые суть физические факты) обозначают задачи, которые являются «абстрактными объектами», описанными на удобном языке программирования ИИ, и могут быть названы концептуальными фактами. Но задача не выступает в качестве стимула, и, наоборот, решения задач достигаются путем *применения* алгоритмов или специальных программ, а применение алгоритмов «вызывает» поведение. Когда в ИИ-модели созданы алгоритмы, это может привести к изменению поведения в УУ-модели, что в терминах УУ является адаптацией.

Связь между ИИ- и УУ-моделями зависит от готовности обучающегося интерпретировать физические стимулы как нечто, обозначающее задачи, и рассматривать некоторые альтернативы ответа как нечто, находящееся в соответствии с возможными альтернативными решениями. Эту готовность удобно рассматривать как удовлетворение аксиомы соответствия. Таким образом, эффективность адаптивной системы обучения зависит от готовности человека обучаться навыку и производить успешное действие. Согласие обучающегося в этом случае удобно расценивать как удовлетворение аксиомы предпочтения. В конечном итоге единство ИИ- и УУ-моделей зависит от справедливости аксиом соответствия и предпочтения.

Здесь мы вступаем в область педагогической психологии, что естественно, так как адаптивная система, как и живой преподаватель, имеет дело с обучением человека. Следовательно, основные факторы, с необходимостью обеспечивающие процесс обучения, — это факторы мотивации — то, что Г. Паск называет аксиомами готовности и предпочтения у обучаемого.

В этой связи следует привести выводы О. А. Конопкина и Л. С. Нерсесяна [82] о том, что прогностическая способность методик профотбора машинистов в значительной степени зависит от отношения испыты-

емых к исследованию его профессионально значимых качеств. Поэтому аксиому готовности и предпочтения у обучаемого, т. е. основные мотивы к формированию того или иного навыка, только в первом приближении можно считать справедливыми.

В разработанной нами адаптивной системе обучения это означает, что обучающийся должен, прежде всего, обращать внимание всегда, когда это возможно, на вход соответствующих (релевантных) стимулов и всегда, когда это возможно, оказывать предпочтение целенаправленной адаптации, удовлетворяющей определенному набору правил, позволяющих осуществлять правильный ответ на определенную стимульную последовательность.

Следующая важная психологическая проблема, возникающая при создании адаптивной обучающей системы, заключается в такой организации последовательности стимулов, чтобы она обеспечивала доступные для понимания задачи, которые обладают также свойством обеспечивать достаточное разнообразие или новизну. Это позволит поддерживать требуемую скорость адаптации.

Практика обучения и психологическая теория не раз доказывали, что никакая конечная и доступная для понимания среда, требующая единственного типа решения задачи, не может бесконечно поддерживать внимание человека. Люди весьма быстро утомляются, если они вынуждены выполнять однообразную работу, что не наблюдается в тех случаях, когда они постигают новые методы выполнения работы, т. е. в определенном смысле выполняют различные работы. Отсюда следует, что первоначальная задача поддержания стабильной коммуникативной системы «человек-машина» (системы диалога) зависит от поддержания баланса между новизной и доступностью для понимания релевантных стимулов.

Соблюдение двух отмеченных фундаментальных факторов — готовности и предпочтения, с одной стороны, и разнообразия заданий — с другой, являются необходимыми условиями для реализации адаптивной системы.

Вместе с этим встает вопрос: можно ли рассматривать человека как самоорганизующую систему, способную сохранить определенную скорость адаптации.

В пользу этого свидетельствуют следующие факты из когнитивной психологии, полученные опытным путем.

1. С функциональной точки зрения человек ведет себя в каждый момент времени как вычислительная система, осуществляющая одновременно один тип вычислений. Он имеет определенное

поле внимания, охватывающее конечный и наблюдаемый интервал, включающий вход в эту вычислительную систему, и предполагаемые альтернативы ответа, выбор из которых составляет ее выход.

2. Эта вычислительная система имеет максимальную пропускную способность по обработке информации, если исходить из неопределенности (относительно выхода, когда состояние входа дано), которую она способна разрешить. Ситуации превышения этой емкости полагаются некорректными и могут сопровождаться эффектами перегрузки.

3. Существует также минимальная пропускная способность по обработке информации (другими словами, нормальный человек обязательно обращает внимание и разрешает неопределенности, свойственные некоторым ситуациям).

4. Обработка данных некорректных ситуаций приводит к адаптации в УУ-модели и к созданию алгоритма в ИИ-модели. Основным условием стабильности вычислительной системы является необходимость поддерживать определенную скорость адаптации.

Итак, подводя итог психологическим аспектам, можно констатировать, что для реализации системы управления адаптивным процессом обучения необходимо наличие следующих двух факторов. Во-первых, необходим метод измерения скорости адаптации оператора для того, чтобы можно было регулировать разнообразие стимульной последовательности, и, во-вторых, необходим метод организации этого разнообразия.

При целенаправленной адаптации, т. е. когда оператором выполняются условия предпочтения и готовности, оказывается возможным, во-первых, использовать скорость изменения критерия правильного ответа в качестве индекса скорости адаптации и, во-вторых, идентифицировать варьирование степени упрощения с варьированием разнообразия стимульной последовательности.

В нашей адаптивной системе варьирование разнообразия осуществлялось не только изменением степени упрощения, но и изменением вероятностной структуры стимульной последовательности. Это определяется тем обстоятельством, что никакая среда, требующая одного-единственного способа решения задачи, не является бесконечно адекватной, и, так как в любом случае навык состоит из нескольких различных поднавыков, которые необходимо повторять, упрощение единственного типа задачи нельзя считать достаточно стабилизирующей процедурой, и оно должно быть дополнено дальнейшим процессом, изменяющим тренируемый навык. Наконец,

когда разнообразие всех  $n$  поднавыков исчерпывается, даже эта стабилизирующая процедура становится неэффективной. Поэтому конечное состояние адаптивной обучающей машины, как это на первый взгляд ни парадоксально, нестабильно.

Перед тем как описать механизм, реализующий стратегии субконтроллеров, ответственных за адаптивное формирование того или иного поднавыка, а также общего контроллера, ответственного за выбор того или иного субконтроллера, сделаем несколько определений относительно функционирования УУ-модели, которые лежат в основе структуры механизма управления.

1. Условием УУ-модели для самоорганизующейся системы является поддержание определенной скорости целенаправленной адаптации, скажем  $\Delta\sigma_i > 0$ , где  $\sigma_i = \sigma_{\mu}$ , независимо от значения упрощения  $\mu$  и где

$$\Delta\sigma_i(t) = [\sigma_i(t) - \sigma_i(t - \tau)]/\tau$$

является конечной разностью на интервале  $\tau$ , как показано на рис. 6.4.

В нашей адаптивной системе  $\Delta\sigma_i(t) = [K_{гэд\ i}(t) - K_{гэд\ i}(t - \tau)] / \tau$ , т. е. скорость целенаправленной адаптации связывалась со скоростью изменения коэффициента готовности к экстренному действию ( $K_{гэд}$ ).

2. Границы  $L$  и  $M$  на рис. 6.4 представляют собой индексы стабильного состояния УУ-модели ( $L$  есть точка перегрузки, а ниже  $M$ , точки недогрузки, происходит адаптация, отличная от релевантной).

В соответствии с УУ-моделью можно подсчитать меры информационного типа по К. Шеннону:

$$H_i = -\sum_x p(y^+ | x) \log p(y^+ | x) \longrightarrow -\sigma_i \log \sigma_i$$

и заявить, что поддержание  $\Delta H_i > 0$  — есть условие УУ-модели для самоорганизующейся системы.

3. В силу перегрузки, ведущей к ошибочным ответам и быстрому уменьшению значения  $\Delta\sigma_i$ , связь между  $\Delta\sigma_i$  и  $\mu$  в данный момент  $t$  выражается в виде графика, показанного на рис. 6.4.

Очевидно, что точная связь, показанная на этом рисунке, непрерывно изменяется по мере обучения оператора, но разрывность в  $L$  остается характерной чертой до тех пор, пока навык не будет полностью усвоен (то есть до тех пор, пока даже неупрощенным задачам не удастся вызвать ошибочные ответы).

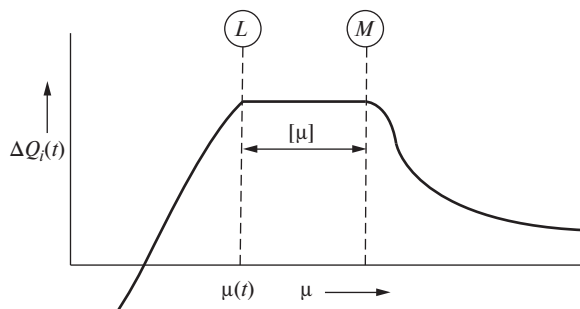


Рис. 6.4. Зависимость  $\Delta\sigma_i$  от величины упрощения  $\mu$

Структура механизма управления показана на рис. 6.5 (все отмеченные на этом рисунке блоки представляют собой программные модули,  $i$  принимает значение  $i = 1, 2, 3 \dots n$ ). Она состоит из программного модуля, осуществляющего вычисления (вычислительный модуль) и модуля сравнения, которые оценивают  $\sigma_i$  и  $\Delta\sigma_i$  набора в общем случае из  $n$  определенных элементов, называемых субконтроллерами (в нашей адаптивной системе  $n = 5$ ), ответственными за стабилизацию связи, когда данный поднавык уже выбран для повторения программным модулем, называемым общим контроллером. Последний осуществляет выбор из набора, состоящего из  $n$  субконтроллеров (в нашей адаптивной системе из пяти субконтроллеров и, следовательно, из пяти поднавыков).

Так как предполагается, что порядок, в котором предъявляются стимулы, соответствующие задачам данного типа (обусловленные данным поднавыком), является несущественным, режим обучения может быть получен из predetermined и произвольной последовательности  $x_0^* \subset X^*$ , причем любой член  $x^* \in x_0^*$  появляется вскоре после ответа, и  $x^*$  отстоят друг от друга не более чем на  $\Delta t$ . Выбор значения  $i$  сводит эту последовательность к  $x^* \subset X_i^*$ ,  $i$ -й субконтроллер упрощает эту сведенную последовательность путем изменения значения  $\mu$  таким образом, чтобы получить  $x = \Phi_{\mu}(x^*) \subset X_{\mu}$  на выходе.

В нашей адаптивной системе количество упрощений  $\mu$  в каждой последовательности  $x \subset X_i^*$  равно 10, т. е. время экспозиции, яркость помех, размер цели имеют десять градаций.

Вероятностная структура стимульной последовательности отражает реальные ситуации, с которыми приходится иметь дело маши-



нису электровоза, — от маловероятных до высоковероятных. Эта вероятностная структура определяет также и число поднавыков, и соответственно число субконтроллеров.

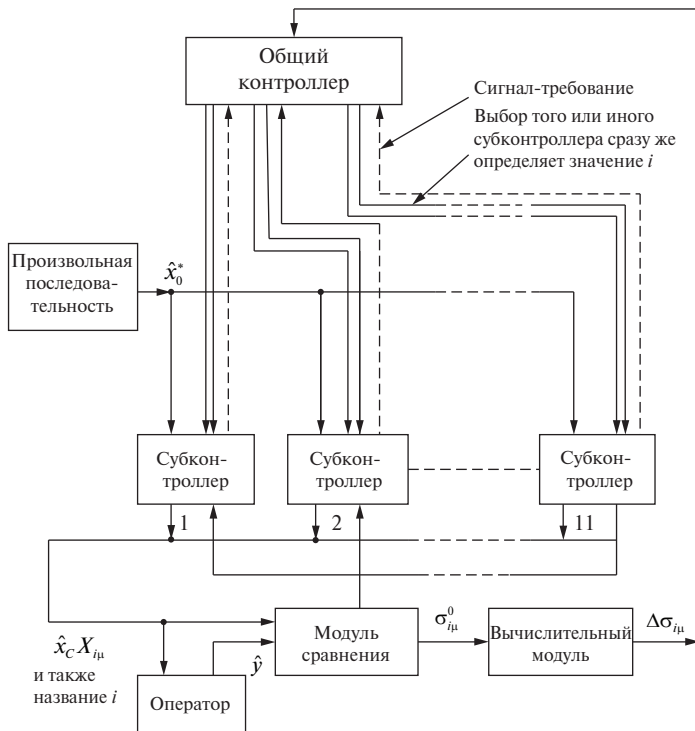


Рис. 6.5. Структурная схема механизма управления адаптивной обучающей системы

Кратко опишем, в чем заключается стабилизирующая стратегия субконтроллера.

Предположим, что выбран  $i$ -й субконтроллер. Как показано на рис. 6.5, он получает на входе  $\Delta\sigma_i$  и выдает на выходе величину упрощения  $\mu$ . Для того чтобы поддержать стабильную систему связи, он должен удовлетворять условию для самоорганизующейся системы, сформулированному для УУ-модели, а именно, он должен подобрать такое значение  $\mu$ , чтобы сохранялось  $\Delta\sigma_i > 0$ , или, в терминах ИИ-модели, он должен, как показано на рис. 6.6, обеспечить последова-

тельность задачи, которая, будучи корректной, достаточно разнообразна, чтобы поддерживать активный процесс обучения.

При условии, что существует связь вида, представленного на рис. 6.4, требуемое значение  $\mu$  лежит в области  $[\mu]$ . Но, как указывалось ранее, форма кривой на рис. 6.4 изменяется по мере обучения оператора. Поэтому субконтроллер должен произвести оценку изменения  $\Delta\sigma_i$  в результате изменения значения  $\mu$ .

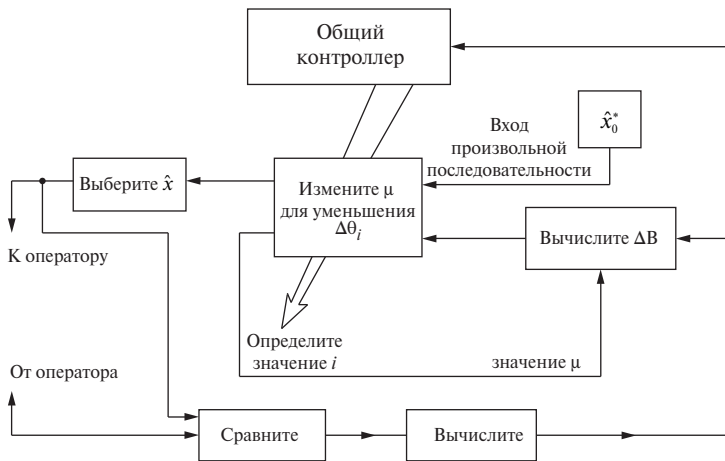


Рис. 6.6. Последовательность прохождения задачи через субконтроллер

Если принять, что распределение  $\Delta\sigma_i(\mu)t$  будет иметь только один пик для всех значений  $t$  (для всех точек процесса обучения), тогда от субконтроллера требуется только поддерживать значения:

$\Delta\sigma_i^+$  = ожидаемое значение  $\Delta\sigma_i$  при данном  $+\Delta\mu$ ;

$\Delta\sigma_i^-$  = ожидаемое значение  $\Delta\sigma_i$  при данном  $-\Delta\mu$ ,

где  $\Delta\mu$  — однократное возрастающее изменение  $\mu$  каждого из  $m$  предъявленных стимулов. Стратегия субконтроллера призвана выбрать на основании группы из  $m$  стимулов коррекцию

$+\Delta\mu$ , если  $\Delta\sigma_i^+ > \Delta\sigma_i$ ;

$-\Delta\mu$ , если  $\Delta\sigma_i^- > \Delta\sigma_i$ ;

0, если  $\Delta\sigma_i^+ = \Delta\sigma_i$ .

Принципиально важно выделение временного интервала между предъявлением проблемной ситуации и подсказывающей информацией (упрощением) как фактора, определяющего трудность про-

блемной ситуации. Важно здесь не только выделение времени как фактора, определяющего трудность проблемы, но и сам порядок предъявления учебного задания и усваиваемой информации.

В психологических экспериментах доказано, что процесс усвоения начинается с возникновения проблемной ситуации, с возникновением у учащегося потребности в усваиваемых новых знаниях. Эта последовательность является одной из важнейших психологических закономерностей мышления, моделируемых в самообучающихся системах. Трудность проблемной ситуации, определяемая временным интервалом между возникновением проблемной ситуации и подсказкой, зависит от степени интеллектуального преобразования проблемы с целью ее решения и времени предъявления подсказки. Во всех случаях, когда общая трудность соответствует возможностям обучаемого и когда тот активно работает над решением проблемы, временной интервал является фактором, имеющим важное значение в адаптации проблемы к процессу усвоения, и может выступать одним из факторов управления этим процессом. При этом нужно иметь в виду, что минимум временного интервала должен соответствовать времени осознания учебного задания обучаемым, а его максимум не должен превышать времени самостоятельного решения проблемной ситуации обучаемым. В противном случае предъявление подсказывающей информации будет бесполезным.

Преподаватель, стремящийся сформировать рассматриваемый нами навык, будет, несомненно, стремиться максимизировать среднюю скорость правильных ответов. Поэтому в случае субконтроллеров он будет стремиться максимизировать  $\Delta\sigma_i$ . С другой стороны, преподаватель уделит должное внимание и решению менее упрощенных задач. Например, он не допустит, чтобы увеличение  $\Delta\sigma_i$  в результате увеличения  $\mu$  (а следовательно, и увеличения упрощения) оказалось столь же значимым, как и увеличение  $\Delta\sigma_i$ , полученное за счет уменьшения  $\mu$  (а следовательно, уменьшения упрощения). Учитывая это, Г. Паск, приписывая единичную стоимость единице упрощения, разумный выигрыш в обучении при выборе  $i$ -го субконтроллера получает в виде

$$\Delta\theta_i = \text{среднее для } \mu \text{ из } [\Delta\sigma_i \mu (1 - \mu/\mu_{\max})].$$

В нашей адаптивной системе  $\Delta\theta_i$  = среднее для  $\mu$  из  $[K_{гэд\ i}(t) - K_{гэд\ i}(t - \tau)] \mu (1 - \mu/\mu_{\max})$ .

Выигрыш для набора субконтроллеров выразится в виде

$$\Delta\theta = \sum_i \Delta\theta_i$$

(при условии, что дано  $\Delta\theta_i \geq 0$  для всех значений  $i$ ).

Очевидно, стабилизирующая стратегия максимизирования значения  $\Delta\sigma_i$  и зависящего от этого условия минимизирования степени упрощения  $\mu$  будет также максимизировать значение  $\Delta\theta_i$ . Далее, так как  $\Delta\theta_i \geq 0$  для всех  $i$  и так как перебираются все значения  $i$ , стратегия будет стремиться максимизировать  $\Delta\theta$ . Исходя из вышеизложенного, учитывая значимость степени упрощения при выборе субконтроллера, необходимо осуществить сохранение этого параметра в памяти. Так, если в момент  $t = t_r$   $i$ -й субконтроллер требует своего переизбрания, значение  $\mu$  при  $t = t_r$ , скажем  $\mu^*$ , удерживается в памяти и используется как исходное значение  $\mu$  при очередном избрании  $i$ -го субконтроллера.

Теперь рассмотрим стратегию общего контроллера на примере нашей адаптивной системы. Если мы формируем один поднавык, например формирование оптимального реагирования в условиях предъявления маловероятных сигналов, то в конечном счете поддержание стабильного взаимодействия окажется невозможным, так как оператор исчерпает разнообразие любого из типов задач (или любого одичного поднавыка, скажем  $i$ -го поднавыка).

Разнообразие задач осуществлялось у нас выбором вероятностной структуры стимульной последовательности, которая принимает значения  $P = [(p_1, p_2, \dots, p_n)]$ . Поэтому, если формируемый навык состоит из нескольких поднавыков, то, когда  $i$ -й субконтроллер становится нестабильным, общий контроллер должен его заменить, т. е. в нашей системе осуществить переход к другой вероятностной структуре стимульной последовательности.

Чтобы определить стратегию общего контроллера, обратимся к практике обучения людей, в том числе операторов, сохраняя принятую терминологию.

Если взять за основу, что ожидаемый выигрыш в увеличении целенаправленной адаптации зависит только от избранного субконтроллера, то общий контроллер должен осуществлять свой выбор путем оценки вектора вероятности выбора  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$ , где  $p_i = p(x \in X_i)$ .

Этот вектор является нормализованной формой вектора вычисляемых ожиданий приращений скоростей адаптации

$$(\Delta\sigma_1^*, \Delta\sigma_2^*, \dots, \Delta\sigma_n^*).$$

При осуществлении выбора  $i$ -го субконтроллера общий контроллер корректирует значение  $\Delta\sigma_i^*$ . Так, если первоначально  $i$ -й субконтроллер был избран при  $t = t_0$ , а осуществление нового выбора производится в момент  $t = t_r$ , то инкремент, пропорциональный по-

лученной разности, прибавляется к существующему значению  $\Delta\sigma_i^*$  и усредняется. Таким образом,

$$\Delta\sigma_i^*(t_r + dt) = \frac{1}{2} \left[ \Delta\sigma_i^*(t_0) + \frac{\sigma_i(t_r) - \sigma_i(t_0)}{t_r - t_0} \right],$$

где  $\sigma_i(t_0)$  есть значение  $\sigma_i$  при  $t = t_0$  и  $\sigma_i(t_r)$  при  $t = t_r$ .

Это стратегия случайного варьирования параметров с регистрацией результатов в памяти, с последующим выбором наиболее оптимальных вариаций.

Однако, если объектом является человек, этот метод становится невозможным. Коммуникативная система «человек-машина» (внутри которой имеет смысл вариация параметров) должна активно поддерживаться обучающей машиной. Поэтому устройству не представляется никакой возможности для продолжительного экспериментирования, которое потребовалось бы для обнаружения таких далеко не очевидных фактов, как действительные «параметры» обучаемого. Эти факты и общие принципы — как машине следует изучать оператора — должны быть заложены в устройство с самого начала.

В заключение отметим те преимущества, которые дает применение адаптивных обучающих систем в тренажерах и которые нашли подтверждение в нашей экспериментальной работе.

1. Существенное (двукратное) снижение времени формирования навыка.

2. Прочность навыка у операторов, прошедших обучение с применением адаптивной обучающей системы, существенно выше, чем при традиционном обучении.

3. Адаптивная самоорганизующаяся система позволяет обеспечить в равной степени прочное формирование всех поднавыков, входящих в структурированный навык.

4. Операторы, обученные с применением адаптивной обучающей системы, более устойчивы по отношению к произвольным возмущениям в ситуациях, требующих обработки поступающей информации, чем операторы, не прошедшие этот вид обучения. Это обстоятельство мы выяснили в специальном эксперименте, когда, объявив испытуемому одну вероятностную структуру стимульной последовательности, на самом деле предъявили другую, т. е. ввели ложную информацию.

1. *Анкудинов И. Г.* Обобщенная целевая функция для мультикритериального выбора в задачах управления и проектирования / И. Г. Анкудинов // *Технология приборостроения*. — 2006. — № 2. — С. 55–61.
2. *Анкудинов Г. И.* Комплексный критерий эффективности и надежности / Г. И. Анкудинов, И. Г. Анкудинов // *Надежность*. — 2010. — № 4. — С. 33–39.
3. *Анохин П. К.* Очерки по физиологии функциональных систем / П. К. Анохин. — М. : Медицина, 1975. — 225 с.
4. *Антомонов Ю. Г.* К вопросу о вероятностных процессах моделирования закономерностей среды корковыми анализаторами / Ю. Г. Антомонов // *Проблемы бионики*. — 1968. — Вып. 1. — С. 75–78.
5. *Антомонов Ю. Г.* К вопросу построения аналогов работы оператора / Ю. Г. Антомонов, В. Е. Кабикин // *Надежность комплексных систем «Человек-техника»*. Ч. 1. — Л., 1969. — С. 23–25.
6. *Андерсон Дж.* Когнитивная психология / Дж. Андерсон. — СПб. : Питер, 2002.
7. *Асратян Э. А.* Тонические условные рефлексы как форма целостной деятельности мозга / Э. А. Асратян // *Журнал ВНД*. — 1963. — Вып. 5. — С. 781–782.
8. *Ахутин В. М.* Поэтапное моделирование и синтез адаптивных биотехнических и эргатических систем / В. М. Ахутин // *Инженерная психология: теория, методология, практическое применение*. — М., 1977. — С. 149–181.
9. *Башлыков А. Н.* Концепция модели оперативного мышления для интеллектуального управления энергоснабжением в трубопроводных системах / А. Н. Башлыков // *Трубопроводный транспорт*. — 2013 — № 3 — С. 29–35.
10. *Бена Э.* Психология и физиология шофера / Э. Бена, И. Госковец, И. М. Штикар // *Транспорт*. — 1965. — С. 192.
11. *Бернштейн Н. А.* О построении движений / Н. А. Бернштейн. — М., Медгиз, 1947. — 255 с.

12. *Бехтерева Н. П.* Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека / Н. П. Бехтерева. — Л. : Медицина, 1971. — 119 с.
13. *Бодров В. А.* Психология и надежность: человек в системах управления техникой / В. А. Бодров, В. Я. Орлов. — М. : Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. — 288 с
14. *Бойко Е. И.* Время реакции человека / Е. И. Бойко. — М. : Медицина, 1964. — 440 с.
15. *Бондаренко А. Ф.* Подготовка оперативно-диспетчерского персонала в историческом аспекте / А. Ф. Бондаренко, В. П. Будовский // Электрические станции. — 2015. — № 1. — С. 32–38.
16. *Буш Р.* Стохастические модели обучаемости / Р. Буш, Ф. Моствеллер. — М., Физматгиз, 1962. — 482 с.
17. *Вавилов В. А.* Анализ методологических аспектов проблемы моделирования деятельности по решению оперативных задач / В. А. Вавилов // Психологические факторы операторской деятельности. — М. : Наука, 1988. — С. 9–24.
18. *Вавилов В. А.* Системные основания сложности оперативных задач / В. А. Вавилов // Психологические факторы операторской деятельности. — М. : Наука, 1988. — С. 44–59.
19. *Венда В. Ф.* Инженерная психология и синтез систем отображения информации / В. Ф. Венда. — М., 1982. — 344 с.
20. *Виноградов М. И.* Физиология трудовых процессов / М. И. Виноградов. — М., Медицина, 1966. — 367 с.
21. *Воронин А. Н.* Нелинейная схема компромиссов в многокритериальных задачах оценивания и оптимизации / А. Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. — 2009. — № 4. — С.106–114.
22. *Воронин В. М.* Компьютерная техника и расширение информационно-коммуникативных возможностей человека / В. М. Воронин. — Свердловск, 1987. — С.195.
23. *Воронин В.М.* Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 280 с.
24. *Воронин В. М.* Психологические проблемы речевого общения в системе человек-ЭВМ // В. М. Воронин, Е. Г. Санникова, З. А. Наседкина. — Екатеринбург : УрГУПС, 2012. — 166 с.
25. *Гаврилюк А. Л.* О влиянии эмоционального состояния диктора на характеристики речевого сигнала / А. Л. Гаврилюк, А. П. Мальцев, Ю. С. Шинкаренко // Безопасность информационного пространства. — Екатеринбург, 2007. — С. 32–36.

26. *Галактионов А. И.* Представление информации оператору (Исследование деятельности человека-оператора производственных процессов) / А. И. Галактионов. — М. : Энергия, 1969. — 135 с.
27. *Гапанович В. А.* Новые направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта / В. А. Гапанович, И. Н. Розенберг // Железнодорожный транспорт. — 2011. — № 4. — С. 5–11.
28. *Генес В. С.* О контроле состояния и повышения бодрости операторов в системе «человек-машина» / В. С. Генес, Ю. М. Мадиевский // Бионика : тез. докл. на Второй укр. республ. конф. — Киев. — 1968. — С. 131–133.
29. *Генкин А. А.* Об автоматизации диагностики функциональных состояний организма по данным ЭЭГ // А. А. Генкин, Г. М., Зараковский // Проблемы инженерной психологии. — 1966. — Вып. 4. — С. 190–206.
30. *Генкин А. А.* Прогнозирование психофизических состояний / А. А. Генкин, В. И. Медведев. — Л., 1973.
31. *Горбов Ф. Д.* О «помехоустойчивости» оператора / Ф. В. Горбов // Инженерная психология. — М., 1964. — С. 340–357.
32. *Горбов Ф. Д.* О специфике возникновения и развития невротических состояний у операторов в системе «человек-машина» / Ф. Д. Горбов, О. Н. Кузнецов, В. И. Лебедев // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. — 1966. — Вып. 12. — С. 1805–1812.
33. *Гречухин И. А.* Интеллектуальная обработка видеoinформации в задачах транспортной безопасности / И. А. Гречухин, А. Н. Каркищенко // Железнодорожный транспорт. — 2011. — № 4. — С. 45–47.
34. *Гублер Е. В.* Вычислительные методы распознавания патологических процессов / Е. В. Гублер. — Л. : Медицина, 1970. 319 с.
35. *Гуд Г. Х.* Системотехника / Г. Х. Гуд, Р. Э. Макол. — М. : Изд-во «Советское радио», 1962.
36. *Дадашев Р. С.* Автомат для определения функционального состояния человека-оператора / Р. С. Дадашев, С. П. Хлебников // В кн. : Система «человек и автомат». — М., 1965. — С. 86–93.
37. *Данилова Н. Н.* Физиология высшей нервной деятельности / Н. Н. Данилова, А. Л. Крылова. — Ростов н/Д : Феникс, 2005.
38. *Денисов В. Г.* Авиационная инженерная психология / В. Г. Денисов, В. Ф. Онищенко, А. В. Скрипец. — М., 1977. — С. 216.



39. *Дмитриева М. А.* Психологический анализ деятельности авиадиспетчера / М. А. Дмитриева // Проблемы общей и инженерной психологии. — Л., 1964. — С. 61–65.
40. *Дормашев Ю. Б.* Психология внимания / Ю. Б. Дормашев, В. Я. Романов. — М. : Тривола, 1995.
41. *Душков Б. А.* Индустриально-педагогическая психология / Б. А. Душков. — М., 1981. — С. 208.
42. История философии : учебник для вузов. — Ростов н/Д : Феникс, 2001.
43. *Завалишина Д. Н.* О механизмах оперативного мышления / Д. Н. Завалишина, В. Н. Пушкин // Вопросы психологии. — 1964. — № 3. — С. 32–38.
44. *Зараковский Г. А.* Психофизиологический анализ трудовой деятельности / Г. А. Зараковский. — М. : Наука, 1966. — 113 с.
45. *Зинченко В. П.* Исследование памяти в связи с задачами инженерной психологии / В. П. Зинченко, П. И. Зинченко // Проблемы инженерной психологии. — 1965. — Вып. 3. — С. 3–19.
46. *Зинченко В. П.,* Анализ деятельности человека-оператора / В. П. Зинченко [и др.] // Инженерная психология. — М., 1964. — С. 203–221.
47. *Зинченко В. П.* Психометрика утомления / В. П. Зинченко, А. Б. Леонова, Ю. К. Стрелков. — М. : Изд-во Московского ун-та, 1977.
48. *Зинченко В. П.* Эргономические основы организации труда / В. П. Зинченко, В. М. Мунипова, Г. А. Смолян. — М., 1974.
49. *Зинченко Т. П.* Поиск и пересчет «критических» объектов при визуальном сканировании / Т. П. Зинченко // Проблемы инженерной психологии. — 1968. — Вып. 2. — С. 28–34.
50. *Зинченко Т. П.* Исследование формирования эталонов на разных стадиях развития перцептивного действия / Т. П. Зинченко // Третий Всесоюзный съезд о-ва психологов СССР. — 1968. — Вып. 1. — С. 237–242.
51. *Зигель А.* Модели группового поведения в системе «человек-машина» : пер. с англ. / А. Зигель, Дж. Вольф. — М., 1973. — С. 261.
52. *Кабикин В. Е.* Диагностика оперативного мышления / В. Е. Кабикин. — Киев : Наукова думка, 1977. — 110 с.
53. *Канеман Д.* Внимание и усилие / Д. Канеман. — М. : Смысл, 2006.
54. *Киколов А. И.* Умственно-эмоциональное напряжение за пультом управления / А. И. Киколов. — М. : Медицина, 1967. — 176 с.

55. *Ковалев Г. А.* Психологические особенности человека / Г. А. Ковалев, В. Н. Мясищев. — Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1960. — Т. 2. Способности. — 383 с.
56. *Когнитивная психология* / под общ. ред. В. Н. Дружинина. — СПб. : Питер, 2002.
57. *Кожевников В. А.* Современные методы анализа электроэнцефалограммы / В. А. Кожевников, Р. М. Мещерский. — М. : Медгиз, 1983. — 327 с.
58. *Козубенко В. Г.* Безопасное управление поездом / В. Г. Козубенко. — М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2008. — С. 548.
59. *Коробкова А. В.* Нормальная физиология / А. В. Коробкова, А. А. Башкиров, К. Т. Ветчинкина. — М. : Высш. шк., 1980.
60. *Коссов Б. В.* Закон Хика и фактор обобщения воспринимаемых объектов / Б. В. Коссов // Система «человек и автомат». — М., 1965. — С. 172–176.
61. *Кринчик Е. П.* Зависимость времени реакции выбора от величины индивидуальной и средней информации / Е. П. Кринчик // Система «человек и автомат». — М., 1965. — С. 147–153.
62. *Леонова А. Б.* Психодиагностика функциональных состояний человека / А. Б. Леонова. — М. : Изд-во МГУ, 1984.
63. *Леонтьев А. Н.* О применении теории информации в конкретно психологических исследованиях / А. Н. Леонтьев, Е. П. Кринчик // Вопросы психологии. — 1965. — № 5. — С. 28–36.
64. *Леонтьев А. Н.* Психология человека и технический прогресс / А. Н. Леонтьев, Д. Ю. Панов // Философские вопросы физиологии высшей нервной деятельности и психологии. — М., 1963. — С. 393–425.
65. *Ломов Б. Ф.* К вопросу о контроле за состоянием человека-оператора / Б. Ф. Ломов, А. И. Прохоров // Вопросы бионики. — М., 1967. — С. 249–252.
66. *Ломов Б. Ф.* Человек и техника / Б. Ф. Ломов. — М. : Сов. радио, 1966. — 463 с.
67. *Лукьянов А. Н.* Сигналы состояния оператора / А. Н. Лукьянов, М. В. Фролов. — М. : Наука, 1969. — 246 с.
68. *Лурия А. Р.* Основы нейропсихологии / А. Р. Лурия. М. : Изд-во МГУ, 1973. — 73 с.
69. *Ляпунов А. А.* Об алгоритмическом описании процессов управления / А. А. Ляпунов, Г. А. Шестопал // Математическое просвещение. — 1957 — Вып. 2. — С. 81–95.

70. *Майзель Н. И.* Анализ деятельности оператора автоматизированной системы управления / Н. И. Майзель // Инженерно-психологические требования к системам управления. — М., 1967. — С. 5–20.
71. *Майзель Н. И.* Психологические вопросы отбора / Н. И. Майзель, В. Д. Небылицын, Б. М. Теплов // Инженерная психология. — М., 1964 — С. 387–396.
72. *Малашинин И. И.* Тренажеры для операторов АЭС / И. И. Малашинин, И. И. Сидорова. — М., 1979. — С. 152.
73. *Маньшин Г. Г.* Управление режимами профилактики сложных систем / Г. Г. Маньшин. — Минск, 1976. — С. 256.
74. *Марищук В. Л.* Напряженность в полете / В. Л. Марищук, К. К. Платонов, И. В. Плетнический — М. : Воениздат, 1969. — 120 с.
75. *Марищук В. Л.* О зависимости точности действий от эмоционального состояния / В. Л. Марищук, Н. В. Сысоев // Проблемы инженерной психологии. — М., 1964. — С. 143–151.
76. *Машин В. А.* Психическая нагрузка, психическое напряжение и функциональное состояние: приложение анализа вариабельности сердечного ритма. Нововоронежский учебно-тренировочный центр подготовки специалистов для АЭС, г. Нововоронеж, Воронежская обл., НВУТЦ АТЭ / В. А. Машин, 2004.
77. *Медведев В. И.* Функциональные состояния человека / В. И. Медведев, А. Б. Леонова // Физиология трудовой деятельности. — СПб. : Наука, 1993.
78. *Милерян Е. А.* Психология формирования общетрудовых политехнических умений / Е. А. Милерян. — М. : Педагогика, 1973. — 299 с.
79. *Милерян Е. А.* К методике психологического изучения деятельности оператора / Е. А. Милерян // Система «человек и автомат». — М., 1965. — С. 53–61.
80. *Милерян Е. А.* Эмоционально-волевые компоненты надежности оператора / Е. А. Милерян // Очерки психологии труда оператора. — М., 1974. — С. 5–83.
81. *Невельский П. Б.* Объем памяти и количество информации / П. Б. Невельский // Проблемы инженерной психологии. — 1965. — Вып. 3. — С. 19–118.
82. *Нерсисян Л. С.* Инженерная психология и проблема надежности машиниста / Л. С. Нерсисян, О. А. Конопкин. — М., 1978. — С. 239.
83. *Николаев В. И.* Определение времени, затрачиваемого оператором на решение задач по управлению судовой энергетической

- установкой /В. И. Николаев // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1965 — № 4. — С. 134–142.
84. *Носкова О. Г.* Психология труда / О. Г. Носкова ; под ред. Е. А. Климова. — М. : Изд. центр «Академия», 2004.
85. *Парачев А. М.* Исследование процесса формирования образа двоичной временной последовательности / А. М. Парачев // Система «человек и автомат». — М., 1965. — С. 165–178.
86. *Платонов К. К.* Вопросы психологии труда / К. К. Платонов. — М. : Медицина, 1970. — 264 с.
87. *Платонов К. К.* Психология летного труда / К. К. Платонов. — М. : Воениздат, 1960. — 350 с.
88. *Помилуйко Э. В.* Изменение эффективности деятельности оператора в течение рабочего дня / Э. В. Помилуйко // Третий Всесоюзный съезд о-ва психологов СССР. — 1968. — Вып. 1. — С. 314–317.
89. *Поплавский А. А.* Автоматизированные диспетчерские центры как интегрированные интеллектуальные системы управления перевозочным процессом / А. А. Поплавский, В. И. Зиннер, М. Т. Иванов // Железнодорожный транспорт. — 2011. — № 4. — С. 26–31.
90. *Попов В. А.* К вопросу об изучении процесса построения оператором структуры двигательной задачи / В. А. Попов, С. Д. Хоружая, А. С. Белая // Бионика : тез. докл. на Второй укр. республ. науч. конф. — 1968. — С. 168–170.
91. *Попов И.* Исследования состояния кожи человека в условиях длительного ограничения ее гигиенической обработки / И. Попов, В. В. Борщенко, Ф. А. Савинич // Проблемы космической биологии. — 196. — № 7. — С. 413–420.
92. *Протцнер С.* Автоматизация диспетчерского управления как средство повышения пропускной способности железных дорог / С. Протцнер [и др.] // Железные дороги мира. — 2010. — № 9. — С. 36–39.
93. Психология труда / под ред. проф. А. В. Карпова. — М. : Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003.
94. Психофизиология / под ред. Ю. И Александрова. — СПб. : Питер, 2014.
95. Психологический отбор летчиков / под редакцией Е. А. Мнлержана. — Киев : НИИ психологии УССР, 1966. — 234 с.
96. *Пушкин В. Н.* Психология водителя / В. Н. Пушкин, Л. С. Нерсисян. — М. : Знание, 1969. — 32 с.

97. *Пушкин В. Н.* Оперативное мышление в больших системах / В. Н. Пушкин. — М.-Л. : Энергия, 1965. — 375 с.
98. *Пушкин В. Н.* Железнодорожная психология / В. Н. Пушкин, Л. С. Нерсисян. — М., 1973.
99. *Риккерт Г.* Границы естественнонаучного образования понятий. Логическое введение в исторические науки / Г. Риккерт. — СПб., 1903.
100. *Риккерт Г.* Философия истории / Г. Риккерт. — СПб., 1908.
101. *Розенблат В. В.* Проблема утомления / В. В. Розенблат. — М., 1975.
102. *Рокотова Н. А.* О некоторых чертах программирования последовательности действий человека / Н. А. Рокотова, И. М. Горбунова // Проблемы космической биологии. — 1967. — № 7. — С. 61–86.
103. *Рокотова Н. А.* К вопросу о способах формирования человеком последовательности действий / Н. А. Рокотова // Проблемы космической биологии. — 1967. — № 6. — С. 189–196.
104. *Рокотова Н. А.* Психофизиологические характеристики решения человеком двигательных задач / Н. А. Рокотова // Проблемы космической биологии. — 1967. — № 7. — С. 27–61.
105. *Сверчкова Р. Т.* Психологический анализ процесса постановки технического диагноза : автореферат дис. ... канд. психол. наук. — М., 1975. — 30 с.
106. *Сергеев С. Ф.* Новые технологии в образовании / С. Ф. Сергеев // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета. — 2011. — № 6. — С. 118–123.
107. *Сидоренко Е. В.* Методы математической обработки в психологии / Е. В. Сидоренко. — СПб. : Речь, 2007.
108. *Солсо Р. Л.* Когнитивная психология / Р. Л. Солсо. — М. : Три-вола, 1996.
109. *Солсо Р. Л.* Когнитивная психология / Р. Л. Солсо. — М. : Три-вола, 2006.
110. *Суворова В. А.* Опыт психологического изучения деятельности операторов // В. А. Суворова, Ю. В. Ивашкин, С. С. Гаджиев // Вопросы психологии. — 1961. — № 3. — С. 47–60.
111. *Теплов Б. М.* Проблемы индивидуальных различий / Б. М. Теплов. — М., 1961. — С. 536.
112. *Ухтомский А. А.* Избранные труды / А. А. Ухтомский. — Л. : Изд-во «Наука», 1978. — Серия «Классики науки».
113. *Хачатурьянц Л. С.* О характеристиках динамики обучения / Л. С. Хачатурьянц [и др.] // Проблемы бионики. — 1967. — Вып. 1. — С. 79–86.

114. *Хачатурьянц Л. С.* Прогнозирование и вероятность как показатель оперативной работоспособности человека / Л. С. Хачатурьянц // Система «человек и автомат». — М., 1965. — С. 235—241.
115. *Холодная М. А.* Когнитивные стили. О природе индивидуального ума / М. А. Холодная. — М., 2002.
116. *Холодная М. А.* Когнитивные стили и интеллектуальные способности / М. А. Холодная // Психологический журнал. — 1992. — № 3.
117. *Хрунов Е. В.* Человек-оператор в космическом пространстве / Е. В. Хрунов, Л. С. Хачатурьянц, В. А. Попов, Е. А. Иванов. — М. : Машиностроение. 1974. — 397 с.
118. *Холл А. Д.* Опыт методологии для системотехники / А. Д. Холл. — М., 1975. — С. 21.
119. *Чуприкова Н. И.* Исследование вызванных потенциалов у человека и физиологические корреляты внимания и произвольных двигательных реакций / Н. И. Чуприкова // Вопросы психологии. — 1967. — № 1. — С. 54—61.
120. *Шамров П. Г.* К вопросу оценки психофизиологических возможностей оператора в системе «человек-машина» / П. Г. Шамров // Проблемы инженерной психологии. — 1966. — Вып. 4. — С. 171—186.
121. *Шкуратова Л. Н.* Исследование стиля в психологии: оппозиция или консолидация / Л. Н. Шкуратова. — М., 1998.
122. *Шпильрейн И. Н.* Что такое утомление / И. Н. Шпильрейн // Психотехника и психофизиология труда. — 1931. — № 1.
123. *Юй Вень-чжао.* Влияние вероятности появления сигнала на процесс его обнаружения / Юй Вень-чжао // Журнал ВИД. — 1964. № 5. — С. 734—739.
124. *Åhsberg E.* Perceived fatigue related to work University of Stockholm, Department of Psychology, National Institute for Working Life, Department for Work and Health, 1998.
125. *Åhsberg E., Gamberale F., Gustafsson K.* Perceived fatigue after mental work: an experimental evaluation of fatigue inventory // Ergonomics. — 2000. — Vol. 43. — № 2.
126. *Åhsberg E.* Dimensions of fatigue in different working populations // Scandinavian Journal. — 2002. — Vol. 41.
127. *Anderson, J. R.* Cognitive psychology and its implications. San Francisco : Freeman, 1985.
128. *Andrian E. D.* The physical background of perception. Clarendon Press. Oxford, 1947. — 243 p.

129. *Atkinson P. N.* Problems of Fatigue // «Appl. Psychol.». — 1970. — Vol. 28.
130. *Atkinson R. S., Shiffrin R. C.* The Control of Short-Term Memory // «Scientific American», 1971.
131. *Belza, B., Steele, BG., Cain, K., Coppersmith, J., Howard, J., and Lakshminarayan, S.* Seattle Obstructive Lung Disease Questionnaire: sensitivity to outcomes in pulmonary rehabilitation in severe pulmonary illness // Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation. — 2005. — Vol. 25(2).
132. *Bowman S. J., Booth D. A., Platts R. G.* Measurement of fatigue and discomfort in primary Sjögren's syndrome using a new questionnaire tool UK Sjögren's Interest Group University of Birmingham, Rheumatology Department, Birmingham, University of Birmingham, School of Psychology, Birmingham, UK, 2001.
133. *Boksem M..S., Meijman T. F., Monicque M.* Effects of mental fatigue on attention: an ERP study // Cognitive Brain Research. — 2005. — Vol. 25.
134. *Broadbent D.E.* In defense of empirical psychology. — L.; N.Y. : Methuen, 1973. — 320 p.
135. *Buch R.* Identification of learning.— Handbook of mathematical psychology. — 1965. — N 3. — P. 161–205.
136. *Campbell H. J.* Correlative physiology of the nervous system.— London—N. Y. // Acad. press/ — 1965. — 313 p.
137. *Cohen S. /, Silverman A.* Measurement of pilot mental effort // North Atlantic Treaty Organisation/ — 1957. — Vol. 148. — P. 29–43.
138. *Durup G., Fessard A.* L'électroencephalogramme de l'homme Observations psycho-physiologiques relations a Taction des stimuli visuels et auditifs // Ann. Psychol. — 1935. — Vol. 36, N 1. — p. 37–83.
139. *Fitts P. M., Petterson J. R.* Information capacity of discrete motor responses // J. Exp. Psychol. — 1964, 67. — N 2. — P. 103–112.
140. *Forbes T. W., Andrews H. L.* Independent control of alpha rhythm and «psychogalvanic» response // Science. — 1937. — N 86. — P. 474–476.
141. *Gastaut H., Bert J.* EEG changes during cinematographic presentation (moving picture activation of the EEG) // EEG and Clin. Neurophysiol. — 1954. — Vol. 6, N 3. — P. 433–441.
142. *Dittner A. J., Wessely S. C., Brown R. G.* The assessment of fatigue. A practical guide for clinicians and researchers // Psychosomatics. Res. — 2004.
143. *Hich U7. E.* On the rate of gain of information. Quart // J. Exp. Psychol. — 1952. — Vol. 4, N 1. — P. 11–26.
144. *Hjollund N. H., Andersen J. H. and Bech P.* Assessment of fatigue in chronic disease: a bibliographic study of fatigue measurement scales.

Department of Clinical Social Medicine, Institute of Public Health, 2007.

145. *Jacobsen P.* Assessment of Fatigue in Cancer Patients. JNCI Monographs, Oxford University Press, 2004.
146. *Kugler I.* Begleitvorgänge geistiger Tätigkeit in Hirnstrombild // Z. exp. und angew. Psychol. — 1963. — Vol. 10, N 2. — P. 198–208.
147. *Lange G., Steffener T. J., Cook D. B., Bly B. M., Christodoulou C., Liu W. C., DeLuca S., Natelson B. H.* Objective evidence of cognitive complaints in Chronic Fatigue Syndrome: A BOLD fMRI study of verbal working memory // *NeuroImage*. — 2005. — Vol. 26.
148. *LaBerge D., Samuels S. J.* Basic processing in reading: perception and comprehension. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1978.
149. *Linden D., Frese M., Meijman T. F.* Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning // *Acta Psychologica*. — 2003. — № 113.
150. *Lorens S., Darrow W.* Eye movements, EEG, GSR and EKG during mental multiplications // *EEG and Clin. Neurophysiol.* — 1962. — Vol. 14, N 5. — P. 739–746.
151. *Luczak H.* The use of simulators for testing individual mental working capacity // *Ergonomics*. — 1971. — Vol. 14, N 5. — P. 650–671.
152. *Mundy-Castle A. C.* The electroencephalogram and mental activity // *EEG and Clin. Neurophysiol.* — 1957. — Vol. 9, N 4. — P. 643–648.
153. *Mundy-Castle A. C.* Theta and beta rhythm in the electroencephalogram of normal adults // *EEG and Clin. Neurophysiol.* — 1951. — Vol. 3, N 2 — p. 477–486.
154. *Murata A., Uetakeb A., Takasawab Y.* Evaluation of mental fatigue using feature parameter extracted from event-related potential. International // *Journal of Industrial Ergonomics*, 2005. — Vol. 35.
155. *Neisser V.* Decision without reaction time, experiments in visual scanning // *Amer. J. Psychology*. — 1963. — Vol. 76, N 4. — P. 376–386.
156. *Neisser U., Novic R., Lasar R.* Searching for ten targets simultaneously // *Perceptual and Motor Skills*. — 1963. — Vol. 17, N 2. — P. 955–961.
157. *Pask G.* Teaching as a control — engineering process // *Control*. — 1965. — N 1,2, 3, 4.
158. *Rönnbäck L., Hansson E.* On the potential role of glutamate transport in mental fatigue. Institute of Clinical Neuroscience, Göteborg University, Göteborg, Sweden, 2004.
159. *Silverman A. J., Cohen S. /.* Psychophysiological investigation in aviation medicine // *North Atlantic Treaty Organisation*. — 1957. — N 148. — P. 3–29.



160. *Thorndyke P. W.* Cognitive structures in comprehension and memory of narrative discourse // *Cognitive Psychology*, 1977. — Vol. 9.
161. *Travis L., Bander V.* The effect of tactile stimulation upon the Berger rhythm. // *J. Exp. Psychol.* — 1938. — Vol. 22, N 3. — P. 48–61.
162. *Travis L., Ohanian E.* The effect of memorizing upon alpha rhythm.— *EEG and Clin. Neurophysiol.* — 1954. — Vol. 6, N 2. — P. 348–353.
163. *Veldhuizen J. T., Gaillard W. K., J. de Vries.* The influence of mental fatigue on facial EMG activity during a simulated workday // *Biological Psychology*, 2003. — N 63.
164. *Vries J. D., H J Michielsen, Van Heck G. L.* Assessment of fatigue among working people: a comparison of six questionnaires // *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, January. — 2007. — N 49 (1).
165. *Weber M.* *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre.* — Tub., 1951.
166. *Williamson A. M., Friswell R., Feyer A. M.* Developing effective measures of fatigue for use in the real world. NSW Injury Risk Management Research Centre, University of New South Wales, Sydney, Australia, 2006.
167. *Witkin H. A., Oltman P. I.* Cognitive style // *Internat. J. of Neurology.* — 1967. — Vol. 6. — P. 119–137.
168. *Wolfe G. S.* Fatigue: Assessment of Fatigue // *Disease Management Digest, Care Manage* — 1999. — Vol. 3, N 2.
169. *Woodworth R. S.* *Dynamics of behaviour.* — N. Y. : Holt. — 1958. — 237 p.
170. *Yellin S. B., Cella D., Webster K. et al.* Measuring fatigue and anemia-related symptoms with the Functional Assessment of Cancer Therapy (FACT) measurement system // *Pain Symptom Manage.* — 1997. — Vol. 13.

*Научное издание*

**Воронин** Владимир Митрофанович

**ПСИХОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ  
ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ В БОЛЬШИХ СИСТЕМАХ.  
ДИАГНОСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
И ОБУЧЕНИЕ ОПЕРАТОРОВ**

Монография

Редактор С. И. Семухина  
Верстка Н. А. Журавлевой

Подписано в печать 05.05.2016. Формат 60×84 /16.  
Усл. печ. л. 14,5. Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–70).  
Заказ 1.

УрГУПС  
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66